

DIN EN 61709

ICS 31.020

Ersatz für
DIN EN 61709:1999-01
Siehe Anwendungsbeginn

**Elektrische Bauelemente –
Zuverlässigkeit –
Referenzbedingungen für Ausfallraten und Beanspruchungsmodelle zur
Umrechnung (IEC 61709:2011);
Deutsche Fassung EN 61709:2011**

Electric components –
Reliability –

Reference conditions for failure rates and stress models for conversion (IEC 61709:2011);
German version EN 61709:2011

Composants électriques –
Fiabilité –

Conditions de référence pour les taux de défaillance et modèles de contraintes pour la
conversion (CEI 61709:2011);
Version allemande EN 61709:2011

Gesamtumfang 88 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2011-07-29 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2012-01-01.

Für DIN EN 61709:1999-01 gilt eine Übergangsfrist bis zum 2014-07-29.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61709:2008-08.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 132 „Zuverlässigkeit“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 56 „Dependability“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61709:1999-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Änderung des Normtitels „Bauelemente der Elektrotechnik“;
- b) Überarbeitung des Hauptteiles der Norm;
- c) neuer Anhang A „Ausfallarten von Bauelementen“;
- d) neuer Anhang B „Ausfallratenvorhersage“;
- e) neuer Anhang C „Betrachtungen zur Entwicklung einer Datenbasis über Ausfallraten“;
- f) neuer Anhang D „Potentielle Quellen für Ausfallratendaten und Methoden für die Auswahl“;
- g) neuer Anhang E „Überblick über Bauelementeklassifikation“.

Frühere Ausgaben

DIN EN 61709: 1999-01

Deutsche Fassung

Elektrische Bauelemente –
Zuverlässigkeit –
Referenzbedingungen für Ausfallraten und Beanspruchungsmodelle
zur Umrechnung
(IEC 61709:2011)

Electric components –
Reliability –
Reference conditions for failure rates and stress
models for conversion
(IEC 61709:2011)

Composants électriques –
Fiabilité –
Conditions de référence pour les taux de
défaillance et modèles de contraintes pour
la conversion
(CEI 61709:2011)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2011-07-29 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2011 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61709:2011 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 56/1422/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 61709, ausgearbeitet von dem IEC/TC 56 „Dependability“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2011-07-29 als EN 61709 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 61709:1998.

EN 61709:2011 beinhaltet folgende signifikante Änderungen gegenüber EN 61709:1998:

- Es wurden eine Reihe von Bauelement-Typen hinzugefügt und die Modelle für eine große Anzahl von Bauelementen aktualisiert.
- Es wurde neue Anhänge über Zuverlässigkeitsvorhersagen, über Datenquellen von Ausfallraten und mit Informationen zur Klassifizierung von Bauelementen hinzugefügt.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN und CENELEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2012-04-29
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2014-07-29

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61709:2011 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60300-3-2:2004	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60300-3-2:2005 (nicht modifiziert).
IEC 60721 (alle Teile)	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 60721.
IEC 61360 (alle Teile)	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 61360.
IEC 61360-1:2009	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61360-1:2010 (nicht modifiziert).
IEC 61360-4:2005	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61360-4:2005 (nicht modifiziert).
IEC 61649:2008	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61649:2008 (nicht modifiziert).
IEC 61703	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61703.
IEC 62308	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62308.
ISO 10303-11:1994	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN ISO 10303-11:1995 (nicht modifiziert).
ISO 10303-31	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN ISO 10303-31.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe und Formelzeichen	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Formelzeichen	11
4 Kontext und Bedingungen	12
4.1 Ausfallarten	12
4.2 Berücksichtigung des Beanspruchungsprofils	13
4.3 Lagerungsbedingungen	13
4.4 Umgebungsbedingungen	13
5 Allgemeine Referenzbedingungen und Beanspruchungsmodelle	15
5.1 Empfohlene allgemeine Referenzbedingungen	15
5.2 Allgemeine Beanspruchungsmodelle	16
6 Spezifische Referenzbedingungen und Beanspruchungsmodelle	20
6.1 Integrierte Halbleiter-Schaltkreise	20
6.2 Diskrete Halbleiter	25
6.3 Optoelektronische Bauelemente	29
6.4 Kondensatoren	34
6.5 Widerstände und Widerstandsnetzwerke	37
6.6 Induktivitäten, Transformatoren und Spulen	39
6.7 Mikrowellenbauelemente	40
6.8 Sonstige passive Bauelemente	41
6.9 Elektrische Verbindungsstellen	42
6.10 Steckverbinder und Steckfassungen	42
6.11 Relais	43
6.12 Schalter und Tasten	45
6.13 Signal- und Meldelampen	47
Anhang A (normativ) Ausfallarten von Bauelementen	49
Anhang B (informativ) Vorhersage der Ausfallrate	51
B.1 Allgemeines	51
B.2 Vorhersage der Ausfallrate für Baugruppen	51
B.2.1 Allgemeines	51
B.2.2 Annahmen und Grenzen	52
B.2.3 Vorgehensweise für die Vorhersage der Ausfallrate	52
B.2.4 Vorhersagemodelle	53
B.2.5 Berücksichtigung von Beanspruchungsprofilen	54

	Seite
B.2.6 Weitere Methoden der Zuverlässigkeitsvorhersage	56
B.2.7 Gültigkeitsbetrachtungen für Zuverlässigkeitsmodelle und Vorhersagen	57
B.3 Bauelementebetrachtungen	58
B.3.1 Bauelementemodell	58
B.3.2 Bauelementekennzeichnung	58
B.4 Allgemeine Betrachtungen zur Ausfallrate	58
B.4.1 Allgemeines	58
B.4.2 Allgemeines Verhalten der Ausfallrate von Bauelementen	59
B.4.3 Erwartungswerte für die Ausfallrate	60
B.4.4 Ursachen für abweichende Ausfallraten	60
Annex C (informativ) Betrachtungen zur Entwicklung einer Datenbasis über Ausfallraten	61
C.1 Allgemeines	61
C.2 Erfassung der Datensammlung – Erfassungsprozess	61
C.3 Zu erfassende Daten und Art der Datenerfassung	61
C.4 Berechnung und Entscheidung	62
C.5 Datenattribute für Ausfallraten-Datenbasis	62
Anhang D (informativ) Potentielle Quellen für Ausfallratendaten und Methoden für die Auswahl	64
D.1 Allgemeines	64
D.2 Auswahl der Datenquelle	64
D.3 Anwenderdaten	65
D.4 Herstellerdaten	65
D.5 Handbuch-Zuverlässigkeitsdaten	66
Anhang E (informativ) Überblick über Bauelementeklassifikation	71
E.1 Allgemeines	71
E.2 Das System von IEC 61360	71
E.3 Andere Systeme	80
E.3.1 NATO-Produktnummern	80
E.3.2 UNSPSC-Codes	80
E.3.3 STEP/EXPRESS	81
E.3.4 IECQ	81
E.3.5 ECALS	81
E.3.6 ISO 13584	81
E.3.7 MIL-Spezifikationen	81
Anhang F (informativ) Beispiele	82
Literaturhinweise	84
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	86
 Bild 1 – Auswahl der Beanspruchungsfelder entsprechend Betriebsstrom und -spannung	 44
Bild 2 – Auswahl der Beanspruchungsfelder entsprechend Betriebsstrom und -spannung	46

	Seite
Bild B.1 – Beanspruchungsprofil	55
Bild B.2 – Mittelung der Ausfallraten	56
Tabelle 1 – Grundlegende Umgebungen	14
Tabelle 2 – Werte für umgebungsbedingte Parameter für grundlegende Umgebungen	15
Tabelle 3 – Empfohlene Referenzbedingungen für umgebungsbedingte und mechanische Beanspruchung	16
Tabelle 4 – Beanspruchungsfaktor für Umgebungsbedingungen π_E	19
Tabelle 5 – Speicher	20
Tabelle 6 – Mikroprozessoren und Peripherie, Mikrokontroller und Signalprozessoren	21
Tabelle 7 – Digitale Familien- und Bus-Interface-Schaltkreise, Bustreiber- und Empfängerschaltungen	21
Tabelle 8 – Analoge integrierte Schaltkreise (IC)	21
Tabelle 9 – Anwendungsspezifische integrierte Schaltkreise (ASICs)	22
Tabelle 10 – Konstanten für Spannungsabhängigkeit	23
Tabelle 11 – Faktor π_U für digitale integrierte CMOS-Schaltkreise	23
Tabelle 12 – Faktor π_U für bipolare analoge integrierte Schaltkreise	23
Tabelle 13 – Konstanten für Temperaturabhängigkeit	23
Tabelle 14 – Faktor π_T für integrierte Schaltkreise (ohne EPROM, FLASH-EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM)	24
Tabelle 15 – Faktor π_T für EPROM, FLASH-EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM	24
Tabelle 16 – Transistoren allgemein, niederfrequent	25
Tabelle 17 – Mikrowellen-Transistoren, z. B. RF > 800 MHz	25
Tabelle 18 – Dioden	26
Tabelle 19 – Leistungshalbleiter	26
Tabelle 20 – Konstanten für Spannungsabhängigkeit der Transistoren	27
Tabelle 21 – Faktor π_U für Transistoren	27
Tabelle 22 – Konstanten für Temperaturabhängigkeit der diskreten Halbleiter	27
Tabelle 23 – Faktor π_T für Transistoren, Referenz- und Mikrowellendioden	28
Tabelle 24 – Faktor π_T für Dioden (ohne Referenz- und Mikrowellendioden) und Leistungshalbleiter	28
Tabelle 25 – optoelektronische Halbleiter-Signalempfänger	29
Tabelle 26 – Leuchtdioden (LED, IRED), Laserdioden und optische Sende-Bauelemente	29
Tabelle 27 – Optokoppler und Lichtschranken	30
Tabelle 28 – Passive optoelektronische Bauelemente	30
Tabelle 29 – Transceiver, Transponder und optische Subsysteme	30
Tabelle 30 – Konstanten für Spannungsabhängigkeit der Phototransistoren	31
Tabelle 31 – Faktor π_U für Phototransistoren	31
Tabelle 32 – Konstanten für Stromabhängigkeit der LEDs und IREDs	32

	Seite
Tabelle 33 – Faktor π_I für LEDs und IREDs	32
Tabelle 34 – Konstanten für Temperaturabhängigkeit der optoelektronischen Bauelemente	32
Tabelle 35 – Faktor π_T für optoelektronische Bauelemente	33
Tabelle 36 – Kondensatoren.....	34
Tabelle 37 – Konstanten für Spannungsabhängigkeit der Kondensatoren	35
Tabelle 38 – Faktor π_U für Kondensatoren.....	35
Tabelle 39 – Konstanten für Temperaturabhängigkeit der Kondensatoren	36
Tabelle 40 – Faktor π_T für Kondensatoren.....	37
Tabelle 41 – Widerstände und Widerstandsnetzwerke	38
Tabelle 42 – Konstanten für Temperaturabhängigkeit der Widerstände.....	38
Tabelle 43 – Faktor π_T für Widerstände.....	39
Tabelle 44 – Induktivitäten, Transformatoren und Spulen.....	39
Tabelle 45 – Konstanten für Temperaturabhängigkeit der Induktivitäten, Transformatoren und Spulen.....	39
Tabelle 46 – Faktor π_T für Induktivitäten, Transformatoren und Spulen.....	40
Tabelle 47 – Mikrowellenbauelemente	40
Tabelle 48 – Sonstige passive Bauelemente	41
Tabelle 49 – Elektrische Verbindungen.....	42
Tabelle 50 – Steckverbinder und Steckfassungen	42
Tabelle 51 – Relais	43
Tabelle 52 – Faktor π_{ES} für Schwachstromrelais	44
Tabelle 53 – Faktor π_{ES} für allgemeine Schaltrelais	44
Tabelle 54 – Faktor π_{ES} für KFZ-Relais	45
Tabelle 55 – Konstanten für Temperaturabhängigkeit der Relais	45
Tabelle 56 – Faktor π_T für Relais	45
Tabelle 57 – Schalter und Tasten.....	46
Tabelle 58 – Faktor π_{ES} für Schalter und Tasten für Schwachstromanwendungen	47
Tabelle 59 – Faktor π_{ES} für Schalter und Tasten für höhere elektrische Belastbarkeit	47
Tabelle 60 – Signal- und Meldelampen	47
Tabelle 61 – Faktor π_U für Signal- und Meldelampen	48
Tabelle A.1 – Ausfallarten – Integrierte Schaltkreise (ICs)(digital).....	49
Tabelle A.2 – Ausfallarten – Transistoren, Dioden, Optokoppler	49
Tabelle A.3 – Ausfallarten – Kondensatoren	50
Tabelle A.4 – Ausfallarten – Widerstände, induktive Bauelemente, Relais	50
Tabelle C.1 – Attribute für Datenbasis für Zuverlässigkeitsvorhersagen	63
Tabelle D.1 – Quellen für Ausfallratendaten.....	66
Tabelle E.1 – Klassifikationsbaum (IEC 61360)	72

Einleitung

Diese Internationale Norm ist für die Zuverlässigkeitsvorhersage von Bauelementen bestimmt, die in Geräten verwendet werden, und zielt auf Organisationen, die ihre eigenen Ausfallratendaten haben, und sie beschreibt, wie diese Daten zur Durchführung von Zuverlässigkeitsvorhersagen angegeben und verwendet werden können.

Sie kann von einer Organisation auch dazu verwendet werden, eine Ausfallratensammlung zu erstellen, und sie beschreibt die Referenzbedingungen, für die Feldausfallraten angegeben werden sollten. Die in diese Norm übernommenen Referenzbedingungen sind typisch für die Mehrzahl der Bauelementeanwendungen in Geräten, werden jedoch Bauelemente unter anderen Bedingungen betrieben, dann kann der Anwender diese Bedingungen als seine Referenzbedingungen angeben.

Die vorgestellten Beanspruchungsmodelle ermöglichen die Extrapolation der Ausfallraten auf andere Betriebsbedingungen, was wiederum die Ausfallratenvorhersage auf der Baugruppenebene erlaubt. Dies ermöglicht die Abschätzung der Auswirkung von Entwicklungsänderungen oder Änderungen der Umgebungsbedingungen auf die Bauelementezuverlässigkeit. Die Zuverlässigkeitsvorhersage ist in der frühen Entwicklungsphase von elektrischen Geräten äußerst nützlich. Sie kann zum Beispiel dazu verwendet werden, potentielle Zuverlässigkeitsprobleme aufzuzeigen, Strategien für die logistische Unterstützung zu planen und Entwicklungskonzepte zu bewerten.

Die hier angegebenen Beanspruchungsmodelle sind von Natur aus generisch und so einfach wie möglich, jedoch vergleichbar mit komplexeren Gleichungen in anderen Modellen.

Diese Norm enthält keine Ausfallratenwerte, aber sie beschreibt, wie Ausfallraten angegeben und verwendet werden können. Diese Vorgehensweise ermöglicht Anwendern, die relevantesten und aktuellsten Ausfallraten für Vorhersagen von der von ihnen ausgewählten Quelle auszuwählen. Diese Norm enthält auch Information über die Auswahl der Daten, die in den dargestellten Modellen verwendet werden können.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gibt Anleitung, wie Ausfallratendaten für die Zuverlässigkeitsvorhersage von elektrischen Bauelementen in Geräten eingesetzt werden können.

Die Referenzbedingungen sind numerische Werte von Beanspruchungen, die typischerweise für Bauelemente in der Mehrzahl der Anwendungen beobachtet werden. Referenzbedingungen sind nützlich, da sie die Grundlage für die Berechnung von Ausfallraten unter beliebigen Bedingungen unter Verwendung von Beanspruchungsmodellen bilden, die die tatsächlichen Beanspruchungen berücksichtigen. Die bei Referenzbedingungen angegebenen Ausfallraten ermöglichen realistische Zuverlässigkeitsvorhersagen, die in der frühen Entwicklungsphase durchgeführt werden.

Die in dieser Norm beschriebenen Beanspruchungsmodelle sind generisch und können, wenn notwendig, als Basis für die Umrechnung der Ausfallratendaten von diesen Referenzbedingungen zu den tatsächlichen Betriebsbedingungen verwendet werden. Dies vereinfacht die Vorgehensweise bei der Vorhersage. Die Umrechnung der Ausfallratendaten ist nur innerhalb der angegebenen Beanspruchungsgrenzwerte der Bauelemente zulässig.

Diese Norm enthält auch Hinweise, wie eine Ausfallratensammlung erstellt werden kann, um Ausfallraten bereitzustellen, die mit den zugehörigen Beanspruchungsmodellen verwendet werden können. Es werden Referenzbedingungen für Ausfallratendaten festgelegt, damit Daten von verschiedenen Quellen auf einheitlicher Basis verglichen werden können. Werden Daten über Ausfallraten in Übereinstimmung mit dieser Internationalen Norm angegeben, dann ist keine zusätzliche Information über die festgelegten Bedingungen notwendig.

In dieser Norm sind keine Werte für Ausfallraten angegeben – sie stellt vielmehr Modelle bereit, mit denen Ausfallraten, die auf andere Weise erhalten wurden, von einer Betriebsbedingung zu einer anderen Betriebsbedingung umgerechnet werden können.

Für die in dieser Norm beschriebene Vorhersagemethode wird davon ausgegangen, dass die verwendeten Bauelemente innerhalb ihrer Brauchbarkeitsdauer verwendet werden. Die Methoden in dieser Norm können allgemein angewendet werden, sie werden aber spezifisch auf die Bauelementefamilien angewendet, die in Abschnitt 6 und Abschnitt E.2 angegeben sind.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050-191, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 191: Dependability and quality of service*

IEC 60605-6, *Equipment reliability testing – Part 6: Tests for the validity and estimation of the constant failure rate and constant failure intensity*

IEC 60721-3-3, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 3: Stationary use at weather protected locations*

IEC 60721-3-4, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 4: Stationary use at non-weatherprotected locations*

IEC 60721-3-5, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 5: Ground vehicle installations*

IEC 60721-3-7, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 7: Portable and non-stationary use*

3 Begriffe und Formelzeichen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-191 und die folgenden Begriffe.

3.1.1

elektrisches Bauteil

Bauteil mit leitenden Anschlüssen, die mit Spannungen oder Strömen beaufschlagt werden dürfen oder Spannungen oder Ströme liefern können

[IEC 61360-1:2009, 2.18]

ANMERKUNG Der Begriff „Elektrisches Bauteil“ schließt die allgemein verwendenden Begriffe „elektronisches Bauelement“, „elektrisches Bauelement“ und „elektromechanisches Bauelement“ ein.

3.1.2

Ausfall (einer Einheit)

Beendigung der Fähigkeit, eine geforderte Funktion zu erfüllen

ANMERKUNG 1 Wenn die Beendigung der Fähigkeit durch einen latenten Fehlzustand verursacht wird, dann tritt der Ausfall auf, wenn bestimmte Umstände zusammentreffen.

ANMERKUNG 2 Der Ausfall einer Einheit ist ein Ereignis, der zum Fehlzustand dieser Einheit führt, was ein Zustand ist.

3.1.3

Ausfallart

Art, in der Ausfälle auftreten

ANMERKUNG Eine Ausfallart kann durch den Verlust der Funktion oder den erfolgten Zustandsübergang definiert sein.

3.1.4 momentane Ausfallrate Ausfallrate

Grenzwert – falls er existiert – des Quotienten der bedingten Wahrscheinlichkeit, dass der Zeitpunkt des Ausfalls einer nicht instand zu setzenden Einheit in ein gegebenes Zeitintervall $(t, t + \Delta t)$ fällt, durch Dauer Δt dieses Zeitintervalls, wenn Δt gegen null geht, unter der Bedingung, dass die Einheit im Zeitintervall $(0, t)$ nicht ausgefallen ist

ANMERKUNG 1 Die momentane Ausfallrate $\lambda(t)$ wird durch die Gleichung

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

ausgedrückt.

Dabei sind $F(t)$ und $f(t)$ die Verteilungsfunktion und die Wahrscheinlichkeitsdichte des Ausfallzeitpunktes, $R(t)$ ist die Zuverlässigkeitsfunktion bezogen auf die Zuverlässigkeit $R(t_1, t_2)$ durch $R(t) = R(0, t)$.

ANMERKUNG 2 Siehe IEC 61703.

ANMERKUNG 3 Andere im Englischen verwendete Begriffe für die momentane Ausfallrate sind „hazard function“, „hazard rate“ und „force of mortality“ (Abkürzung FOM).

ANMERKUNG 4 In dieser Norm wird $\lambda(t)$ über der Zeit als konstant angenommen.

3.1.5 Referenzbedingungen

Beanspruchungen sind so gewählt, dass sie der Mehrzahl der Bauelementeanwendungen in Geräten entsprechen.

ANMERKUNG Die Beanspruchungen beinhalten elektrische Beanspruchungen, Temperatur und Umgebungsbedingungen.

3.1.6 Ausfallrate unter Referenzbedingungen

Ausfallrate unter den in dieser Norm angegebenen Referenzbedingungen

ANMERKUNG Die Ausfallrate ist bauelementespezifisch, d. h. sie beinhaltet die Auswirkung der Komplexität, der Gehäusetechnologie, die Abhängigkeit von Herstellern und den Herstellprozess usw.

3.1.7 Betriebszyklus

festgelegte Folge von Betriebsbedingungen

[IEC 60050-151:2001, 151-16-02]

ANMERKUNG Der Betriebszyklus gibt an, ob Bauelemente während des Betriebes dauernd oder intermittierend beansprucht werden. Dauerbetrieb ist als Betrieb über einen längeren Zeitraum bei konstanter oder wechselnder Belastung definiert (z. B. Leitsysteme, Fernsprechvermittlungseinrichtungen). Aussetzungsbetrieb ist als Betrieb bei konstanter oder wechselnder Belastung während des betriebsfähigen Zustandes definiert (z. B. numerische Maschinensteuerungen, Straßenverkehrsampeln).

3.1.8 Vorhersage

Berechnungsvorgang zur Ermittlung des vorhergesagten Wertes einer Größe

ANMERKUNG Die Benennung „Vorhersage“ kann auch zur Bezeichnung des vorhergesagten Wertes einer Größe benutzt werden.

3.1.9

Bauelement

wesentlicher Bestandteil einer Einrichtung, der nicht physisch in kleinere Bestandteile aufgeteilt werden kann, ohne seine spezifische Funktion zu verlieren

[IEC 60050:2001, 151-11-21]

3.1.10

Ausrüstung

Betriebsmittel

einzelnes Gerät oder Gesamtheit von Einrichtungen oder Geräten oder Gesamtheit der wesentlichen Einrichtungen einer Anlage oder alle zur Ausführung einer bestimmten Aufgabe notwendigen Einrichtungen

ANMERKUNG Beispiele für Ausrüstungen oder Betriebsmittel sind ein Transformator, die Ausrüstung einer Schaltstation oder eine Messeinrichtung.

[IEC 60050-151:2001, 151-11-25]

3.1.11

Brauchbarkeitsintervall

Brauchbarkeitszeit

Zeitintervall von der ersten Anwendung bis zu dem Zeitpunkt, bei dem die Anwenderanforderungen aufgrund der Wirtschaftlichkeit oder Veralterung nicht mehr erfüllt sind

3.1.12

Drift

Differenz zwischen dem Endwert einer Kenngröße am Ende eines spezifizierten Zeitintervalls und dem Startwert, wenn alle anderen Betriebsbedingungen konstant gehalten wurden

ANMERKUNG Die Verwendung des Begriffs „Drift“ mit Bezug auf die unmittelbare Änderung einer Kenngröße als direkte Reaktion auf geänderte Betriebsbedingungen (zum Beispiel Temperatur) wird abgelehnt.

[IEC 60747-1:2006, 3.6.1, modifiziert]

3.1.13

Ersatztemperatur (eines Halbleiterbauelements)

theoretischer Temperaturwert, der mit Hilfe einer vereinfachten Darstellung des thermischen und elektrischen Verhaltens des Halbleiterbauelements berechnet werden kann

[IEC 60050-521: 2002, 521-05-14, modifiziert]

3.1.14

Ersatz-Sperrschichttemperatur

Ersatztemperatur des Übergangs eines Halbleiterbauelements

[IEC 60050-521:2002, 521-05-15]

ANMERKUNG Die Ersatztemperatur ist nicht notwendigerweise die höchste Temperatur im Bauelement.

3.2 Formelzeichen

In dieser Norm werden folgende Formelzeichen angewendet:

S	Anzahl der Schaltspiele je Stunde
E_a	Aktivierungsenergie eines Ausfallprozesses
I_{op}	Betriebsstrom
I_{rat}	Bemessungsstrom
I_{ref}	Referenzstrom
P_{op}	Betriebsverlustleistung
P_{rat}	Bemessungsverlustleistung
P_{ref}	Referenzverlustleistung
$R(t_1, t_2)$	Überlebenswahrscheinlichkeit zwischen den zwei Zeitpunkten t_1 and t_2
R_{th}	Wärmewiderstand
$R_{th,amb}$	Wärmewiderstand (gegen die Umgebung)
S_{ref}	Referenz-Schaltspiele je Stunde
T_{amb}	Umgebungstemperatur in Kelvin
T_0	Referenzumgebungstemperatur in Kelvin
T_{ref}	Referenztemperatur in Kelvin
U_{op}	Betriebsspannung
U_{rat}	Bemessungsspannung
U_{ref}	Referenzspannung
t_p	Zeitanteil mit Teillast für eine Baugruppe
t_i	Zeitanteil des Stillstands für eine Baugruppe
t_f	Zeitanteil mit Volllast für eine Baugruppe
β	Formparameter der Weibull-Verteilung
ΔT	tatsächliche Eigenerwärmung in Grad Celsius
ΔT_{ref}	Referenzeigenerwärmung in Grad Celsius
θ_{amb}	Umgebungstemperatur in Grad Celsius
θ_{op}	Betriebstemperatur in Grad Celsius ^{N1)} – für Kondensatoren die tatsächliche Kondensatortemperatur, – für diskrete Halbleiter und optoelektronische Bauelemente die tatsächliche Sperrschichttemperatur, – für Induktivitäten die tatsächliche mittlere Wicklungstemperatur, – für integrierte Schaltkreise (ICs) die tatsächliche Ersatz-Sperrschichttemperatur, – für sonstige elektronische Bauelemente die tatsächliche Umgebungstemperatur, – für Widerstände die tatsächliche mittlere Temperatur des Widerstandselementes

^{N1)} Nationale Fußnote: Die folgenden vier Zeilen gehören nicht zu θ_{amb} , wie in der IEC-Publikation fälschlich aufgeführt, sondern zu θ_{op} .

θ_0	Referenzumgebungstemperatur in Grad Celsius
θ_{ref}	Referenztemperatur in Grad Celsius – für Kondensatoren die Kondensatortemperatur unter Referenzbedingungen, – für diskrete Halbleiter und optoelektronische Bauelemente die Sperrschichttemperatur unter Referenzbedingungen, – für Induktivitäten die mittlere Wicklungstemperatur unter Referenzbedingungen, – für integrierte Schaltkreise die Ersatz-Sperrschichttemperatur unter Referenzbedingungen, – für sonstige elektronische Bauelemente die Bauelementetemperatur unter Referenzbedingungen, – für Widerstände die mittlere Temperatur des Widerstandselementes unter Referenzbedingungen
λ_f	Ausfallrate bei Volllast für die Baugruppe
λ_p	Ausfallrate bei Teillast für die Baugruppe
λ_i	Ausfallrate bei Stillstand für die Baugruppe
$\lambda_{\text{component}}$	Ausfallrate eines Bauelementes
λ_{mode}	Ausfallrate einer Ausfallart eines Bauelementes
λ_S	Ausfallrate eines Systems
λ	Ausfallrate unter Betriebsbedingungen
λ_{ref}	Ausfallrate unter Referenzbedingungen
π_I	Faktor für Stromabhängigkeit
π_{ES}	Faktor für Abhängigkeit von der elektrischen Beanspruchung
π_E	Faktor für Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen
π_{op}	Faktor für Beanspruchungsprofil
π_S	Faktor für Abhängigkeit von der Schalthäufigkeit
π_T	Faktor für Temperaturabhängigkeit
π_U	Faktor für Spannungsabhängigkeit

4 Kontext und Bedingungen

4.1 Ausfallarten

Die bevorzugte Kenngröße für Zuverlässigkeitsdaten von elektrischen Bauelementen ist die (momentane) Ausfallrate. Es ist zu beachten, dass das exakt beobachtete Ereignis, das festgestellt wird, eine Ausfallart ist, obwohl es oft allgemein als Ausfall definiert wird.

In Geräten wird ein Ausfall (eine Ausfallart) oder ein Funktionsausfall durch eine Bauelementeausfallart verursacht, wobei diese Bauelementeausfallart für den vom Gerät ausgeführten Anwendungsfall von Bedeutung ist.

Es sollte beachtet werden, dass ein Bauelement viele Funktionen hat und davon fallweise nur einige für eine spezielle Anwendung verwendet werden. Ein Funktionsausfall auf Geräteebe­ne tritt nur dann auf, wenn ein Ausfall der Bauelementefunktion auftritt, die diese Gerätefunktion unterstützt.

Außerdem ist für einen Schaltkreis das Vorhandensein von Bauelementefunktionen in Bezug auf die Anforderungen des Entwicklers notwendig; das wird nicht immer den ganzen Funktionsumfang des Bauelementes

umfassen, und eine spezielle Funktion wird nicht immer in Bezug auf funktionale Kenngrößen bis zu der im Datenblatt angegebenen Leistungsgrenze und Belastbarkeit betrieben werden.

Handbücher definieren üblicherweise die Ausfallrate als einen Gesamtwert, der alle Ausfallarten einschließt. Das bedeutet, dass die Bauelementeausfallrate als Summe der Ausfallraten aller Ausfallarten betrachtet werden kann:

$$\lambda_{\text{component}} = \sum_{i=1}^n (\lambda_{\text{mode}})_i \quad (1)$$

Dabei ist $(\lambda_{\text{mode}})_i$ die Ausfallrate des Bauelementes, in dem die Ausfallart i auftritt, und n die Anzahl der Ausfallarten.

Ausfallarten sind im Anhang A angegeben, und weitere Details über Ausfälle enthält Anhang B.

4.2 Berücksichtigung des Beanspruchungsprofils

Einer der wesentlichen Faktoren, die die Bauelementezuverlässigkeit beeinflussen, ist das Beanspruchungsprofil. Dieses wird abhängig von der auftretenden Beanspruchungsart variieren. Dies kann Dauerbetrieb über der Zeit auf festem Niveau, Dauerbetrieb über der Zeit auf veränderlichem Niveau oder sporadisch entweder auf festem oder veränderlichem Niveau sein. In einigen Fällen könnte das Ein- und Ausschalten signifikant und von größerer Bedeutung sein als die stationären Betriebsbedingungen. Die sorgfältige Betrachtung des Beanspruchungsprofils ist notwendig, um völlig zu verstehen, wie es die Bauelementezuverlässigkeit beeinflusst.

Das Beanspruchungsprofil kann auf der Kalenderzeit oder auf der aktuellen Betriebszeit basierend berücksichtigt werden, oder es kann Zyklus-bezogen sein (z. B. wie oft eine Einheit verwendet wird).

4.3 Lagerungsbedingungen

Bauelemente unter Lagerungsbedingungen sind nicht vor Ausfällen geschützt. Die in dieser Norm angegebenen Beanspruchungsmodelle für die Faktoren für die Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen treffen jedoch möglicherweise nicht zu, da sie nur Betriebsbedingungen berücksichtigen. Unter Lagerungsbedingungen können unterschiedliche Ausfallmechanismen auftreten, die in den Modellen nicht berücksichtigt sind.

Lagerungsbedingungen sollten getrennt von Betriebsbedingungen behandelt werden. Sie können das Ausfallverhalten der Bauelemente im späteren Betrieb beeinflussen.

4.4 Umgebungsbedingungen

Die Umgebung trägt zum Ausfall bei, der während der Betriebsdauer des Gerätes auftritt. Deshalb sollten die Dauer und Intensität der umgebungsbedingten Beanspruchungen im Betriebsmodell des Gerätes berücksichtigt werden.

Eine strengere Umgebung kann öfter auftretende Ausfälle verursachen als eine weniger strenge. Es gibt normalerweise mehrere Umgebungsaspekte, die für einen spezifischen Ausfall relevant sind und die alle verstanden werden sollten. Die örtliche Lage der Umgebung ist ebenfalls wichtig, z. B. sind bei einem Flugzeug die Umgebungen in der Kabine und am Triebwerk sehr unterschiedlich.

Die Umgebung kann in Form mehrerer Parameter beschrieben werden. IEC 60721-3-3 beschreibt die Umgebung in Form von

- klimatischen Bedingungen,
- speziellen klimatischen Bedingungen,
- biologischen Bedingungen,
- chemisch aktiven Substanzen,
- mechanisch aktiven Substanzen,
- mechanischen Bedingungen (sowohl statisch als auch dynamisch).

Alle oben angegebenen Bedingungen sind im Allgemeinen für die Gerätezuverlässigkeit von Bedeutung (Ausfallrate), und es ist sinnvoll zu berücksichtigen, dass die Zuverlässigkeit von Bauelementen und damit die von den Geräten abnimmt, wenn die umgebungsbedingte Beanspruchung zunimmt (siehe Reihe IEC 60721 hinsichtlich einer detaillierten quantitativen Beschreibung der umgebungsbedingten Parameter für jede Umgebung).

In dieser Norm wird angenommen, dass die klimatischen und mechanischen Bedingungen die wichtigsten sind, und dies gilt auch für viele Standardanwendungen von Bauelementen. Es kann jedoch Situationen geben, in denen z. B. chemische Bedingungen eine höhere Ausfallrate ergeben könnten.

Deshalb werden nur die klimatischen und mechanischen Parameter zur Beschreibung der Auswirkung der Referenz-Umgebungen auf die Ausfallrate verwendet. Die Temperatur wird jedoch in dieser Norm getrennt betrachtet, und der Einfachheit halber werden drei grundlegende Umgebungen ausgewählt, die konventionell mit E1, E2 und E3 bezeichnet werden. Diese Umgebungen beziehen sich auf allgemeine Anwendungssituationen im Einsatz unter Berücksichtigung spezifischer Werte für die umgebungsbedingten Parameter. Diese sind in Tabelle 1 festgelegt.

Tabelle 1 – Grundlegende Umgebungen

E1	Stationäre Anwendung in wettergeschützten Einsatzorten	Diese Umgebung ist höchst unempfindlich gegenüber dem Wetter im Freien, und die Luftfeuchtigkeit wird innerhalb festgelegter Grenzen geregelt. Das ist typisch für Geräte der Nachrichtentechnik und Computer, die in Gebäuden verwendet werden. Dies schließt Büroumgebungen mit ein.
E2	Stationäre Anwendung in teilweise wettergeschützten und nicht wettergeschützten Einsatzorten	Diese Umgebung weist thermische und mechanische Beanspruchungen auf, die direkt durch natürliche Umgebungsbedingungen beeinflusst sind. Das ist typisch für Geräte, die im Freien installiert sind.
E3	Tragbare und ortsveränderliche Anwendung, Installation in Bodenfahrzeugen	Diese Umgebung weist mechanische Beanspruchung und starke Temperaturgradienten auf. Das ist typisch für auf Fahrzeugen installierte Geräte oder tragbare Geräte.

Es können andere Umgebungen festgelegt werden, zu Einzelheiten siehe 5.2.5.

Tabelle 2 enthält die Werte der umgebungsbedingten Parameter und ihre Beziehung zu den in den entsprechenden IEC-Normen angegebenen Klassen.

Der Einfluss der Umgebung kann als eine Änderung der Ausfallrate unter Anwendung eines Faktors für die Umgebungsabhängigkeit π_E beschrieben werden (siehe Tabelle 4). Es ist zu beachten, dass π_E ein diskreter Faktor ist, da er auf nichtkontinuierlichen Daten basiert und eine große Anzahl unterschiedlicher untergeordneter Faktoren zusammenfasst.

Tabelle 2 – Werte für umgebungsbedingte Parameter für grundlegende Umgebungen

Grundlegende Umgebungen	E1 Stationäre Anwendung in wettergeschützten Einsatzorten	E2 Stationäre Anwendung in teilweise wetterge- schützten und nicht wetter- geschützten Einsatzorten	E3 Tragbare und ortsveränderliche Anwendung, Installation in Bodenfahrzeugen
Temperaturänderungsrate	$\leq 0,5 \text{ °C/min}$	$> 0,5 \text{ °C/min}$	$> 0,5 \text{ °C/min}$
Stationäre Vibration, sinusförmig	2 Hz bis 9 Hz < 1,5 mm 9 Hz bis 200 Hz $\leq 5 \text{ m/s}^2$	2 Hz bis 9 Hz $\leq 3 \text{ mm}$ 9 Hz bis 200 Hz $\leq 10 \text{ m/s}^2$	2 Hz bis 9 Hz > 3 mm 9 Hz bis 200 Hz $\geq 10 \text{ m/s}^2$ 200 Hz bis 500 Hz $\geq 15 \text{ m/s}^2$
Nichtstationäre Vibration einschließlich Schock	$\leq 70 \text{ m/s}^2$	$\leq 250 \text{ m/s}^2$	$> 250 \text{ m/s}^2$
IEC 60721-3-3-Klassen	3K1 3K2 3K3 3K4 3K5 3K6 3M1 3M2 3M3	3K7 3K7L 3K8 3K8H 3K8L 3K9 3K10 3M4 3M5 3M6 3M7	–
IEC 60721-3-4-Klassen	–	–	4K1 4K2 4K3 4K4 4K4H 4K4L
IEC 60721-3-5-Klassen	–	–	5K1 5K2 5K3 5K4 5K4H 5K4L 5K5 5K6 5M1 5M2 5M3
IEC 60721-3-7-Klassen	–	–	7K1 7K2 7K3 7K4 7K5
ETS 300 019-1-3-Klassen	3.1; 3.2; 3.3	3.4; 3.5	–
ETS 300 019-1-4-Klassen	–	4.1; 4.1E	–
ETS 300 019-1-8-Klassen	8.1 + Note	–	–
ETS 300 019-1-5-Klassen	–	–	5.1; 5.2
ETS 300 019-1-7-Klassen	–	–	7.1; 7.2; 7.3; 7.3E

Der Einfachheit halber enthält diese Norm nur drei Umgebungen. Der Anwender kann jedoch unter Verwendung der gleichen Methodik jede Umgebung beschreiben und den dazugehörigen Umgebungsanwendungseffekt π_E festlegen, wie in 5.2.5 beschrieben.

5 Allgemeine Referenzbedingungen und Beanspruchungsmodelle

5.1 Empfohlene allgemeine Referenzbedingungen

Allgemeine Referenzbedingungen sind solche, die für alle Bauelementtypen gelten. In dieser Norm schließen diese elektrische Beanspruchungen, Temperatur und Umgebungsbedingungen ein. Wenn erforderlich und wenn Modelle verfügbar sind, können diese auf der spezifischen Bauelementeebene berücksichtigt werden.

Die Empfehlungen in Tabelle 3 sollten von einer Organisation verwendet werden, es sei denn, diese sind für die normalen Einsatzbedingungen der Geräte dieser Organisation nicht zutreffend. Der Organisation bleibt es dann unbenommen, ihre eigenen entsprechenden Referenzbedingungen zu wählen.

Die gewählten Werte sind typisch für die Mehrzahl der Bauelemente-Betriebsbedingungen. Jede Organisation sollte Bedingungen wählen, die näher an den eigenen aktuellen Erfahrungen liegen, wenn diese von den in Tabelle 3 angegebenen abweichen.

Allgemeine Modelle sind nicht verfügbar.

Tabelle 3 – Empfohlene Referenzbedingungen für umgebungsbedingte und mechanische Beanspruchung

Beanspruchungsart	Referenzbedingung ^a
Umgebungstemperatur ^b	$\theta_0 = 40 \text{ °C}$
Umgebungsbedingung	Umgebung E1 (siehe Tabelle 1)
Sonderbeanspruchungen	In dieser Norm nicht angesprochen ^c
^a Die unter diesen Bedingungen angegebenen Ausfallraten gelten nur für Bauelemente, die nicht während des Transports bzw. der Lagerung beschädigt wurden. ^b Im Sinne dieser Norm ist die Umgebungstemperatur die Temperatur des Mediums direkt am Bauelement während der Betriebszeit des Gerätes ohne Berücksichtigung einer möglichen Eigenerwärmung des Bauelementes. Die Umgebung des Bauelementes sollte festgelegt sein. ^c Sonderbeanspruchungen schließen Wind, Regen und Schnee, Vereisung, Tropf-, Sprüh-, Spritz- oder Strahlwasser, Staub (chemisch wirksam oder nicht wirksam), Einwirkung von tierischen Schädlingen, aggressiven Gasen, radioaktive Strahlung usw. ein. Diese Beanspruchungen können in Bezug auf Ausfälle signifikant sein, nach allgemein guter Praxis sollten sie jedoch durch Entwicklungspraktiken berücksichtigt werden. Es kann Fälle geben, in denen ihr Einfluss durch anwendbare Modelle behandelt werden kann. Diese Beanspruchungen haben einen derart weiten Bereich von Einflüssen, dass es nicht angebracht wäre, sie in dieser Norm anzusprechen.	

5.2 Allgemeine Beanspruchungsmodelle

5.2.1 Allgemeines

Bauelemente werden nicht immer unter Referenzbedingungen betrieben. In solchen Fällen werden die betrieblichen Bedingungen zu Ausfallraten führen, die von denen unter Referenzbedingungen abweichen. Deshalb werden gegebenenfalls Modelle für Beanspruchungsfaktoren benötigt, mit denen die Ausfallraten unter Referenzbedingungen in Werte unter Betriebsbedingungen (tatsächliche Umgebungstemperatur und tatsächliche elektrische Beanspruchung der Bauelemente) und umgekehrt umgerechnet werden können. Im Abschnitt 6 sind spezifische Beanspruchungsmodelle und Werte für π -Faktoren für Bauelementarten angegeben, und sie sollten für die Umrechnung von Referenzausfallraten in Ausfallraten unter Feldeinsatzbedingungen verwendet werden. Sie sind ein Maß für die Veränderung der Ausfallrate aufgrund der Änderungen von Beanspruchung oder Bedingungen. Sind jedoch spezifischere Modelle für bestimmte Bauelementarten anwendbar, dann sollten sie verwendet und ihre Anwendung begründet und dokumentiert werden.

Die Umrechnung der Ausfallraten ist nur innerhalb der festgelegten Grenzwerte der Bauelemente zulässig.

Die Bauelementeausfallrate unter Betriebsbedingungen berechnet sich zu:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \cdot \pi_U \cdot \pi_I \cdot \pi_T \cdot \pi_E \cdot \pi_S \cdot \pi_{\text{ES}} \quad (2)$$

Dabei ist

- λ_{ref} die Ausfallrate unter Referenzbedingungen;
- π_U der Faktor für Spannungsabhängigkeit;
- π_I der Faktor für Stromabhängigkeit;
- π_T der Faktor für Temperaturabhängigkeit;
- π_E der Faktor für die Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen;
- π_S der Faktor für die Abhängigkeit von der Schalthäufigkeit;
- π_{ES} der Faktor für die Abhängigkeit von der elektrischen Beanspruchung.

5.2.2 Beanspruchungsfaktor π_U für Spannungsabhängigkeit

$$\pi_U = \exp \left\{ C_3 \left[\left(\frac{U_{op}}{U_{rat}} \right)^{C_2} - \left(\frac{U_{ref}}{U_{rat}} \right)^{C_2} \right] \right\} \quad (3)$$

Dabei ist

- U_{op} die Betriebsspannung in V;
- U_{ref} die Referenzspannung in V;
- U_{rat} die Bemessungsspannung in V;
- C_2, C_3 sind Konstanten.

Gleichung (3) ist ein empirisches Modell zur Beschreibung der Spannungsabhängigkeit von Ausfallraten.

ANMERKUNG Wenn es für einige Bauelementtypen notwendig ist, absolute Spannungswerte zu verwenden, dann kann die Gleichung modifiziert werden zu $\pi_U = \exp \left\{ C_1 \left(U_{op}^{C_2} - U_{ref}^{C_2} \right) \right\}$ mit $C_1 = C_3 / U_{rat}^{C_2}$.

5.2.3 Beanspruchungsfaktor π_I für Stromabhängigkeit

$$\pi_I = \exp \left\{ C_4 \left[\left(\frac{I_{op}}{I_{rat}} \right)^{C_5} - \left(\frac{I_{ref}}{I_{rat}} \right)^{C_5} \right] \right\} \quad (4)$$

Dabei ist

- I_{op} der Betriebsstrom in A;
- I_{ref} der Referenzstrom in A;
- I_{rat} der Bemessungsstrom in A;
- C_4, C_5 sind Konstanten.

Gleichung (4) ist ein empirisches Modell zur Beschreibung der Stromabhängigkeit von Ausfallraten.

5.2.4 Beanspruchungsfaktor π_T für Temperaturabhängigkeit

$$\pi_T = \exp \left[\frac{E_{a1}}{k_0} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_{op}} \right) \right] \quad (5)$$

Gleichung (5) ist ein empirisches Modell basierend auf der Arrhenius-Gleichung, und sie beschreibt die Temperaturabhängigkeit von Ausfallraten. Idealerweise sollte diese Berechnung für jede Ausfallart durchgeführt werden, aber es ist allgemeine Praxis, die Berechnung unter Mittelung aller Aktivierungsenergien für alle Ausfallarten durchzuführen. Es sollte beachtet werden, dass im letzteren Fall die Aktivierungsenergie wegen der unterschiedlichen Aktivierungsenergien der zu Grunde liegenden Ausfallarten auch eine Funktion der Temperatur sein kann. Aber dieser Effekt wird im Allgemeinen nicht berücksichtigt.

In bestimmten Fällen ist es zweckmäßig, ein komplexeres Modell mit zwei Aktivierungsenergien zu verwenden, um die Temperaturabhängigkeit der Ausfallraten zu beschreiben. In solch einem Fall kann das folgende in Gleichung (6) dargestellte Modell verwendet werden. Die Anwendung des Modells mit zwei Aktivierungsenergien (E_{a1}, E_{a2}) wird als ausreichend angesehen, den Zusammenhang zwischen Temperatur und Ausfallrate zu modellieren. (Dies ist mitunter als „konkurrierende Risiken“ bekannt, siehe JESD-85 zu Details.)

Diese erweiterte Arrhenius-Gleichung ist standardisiert, um temperaturabhängige Aktivierungsenergien zu vermeiden, wenn die Referenztemperatur T_{ref} geändert wird.

$$\pi_T = \frac{A \cdot \exp(E_{a1} \cdot z) - (1 - A) \cdot \exp(E_{a2} \cdot z)}{A \cdot \exp(E_{a1} \cdot z_{\text{ref}}) - (1 - A) \cdot \exp(E_{a2} \cdot z_{\text{ref}})} \quad (6)$$

mit den Hilfsvariablen

$$z = \frac{1}{k_0} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{\text{op}}} \right) \quad \text{und} \quad z_{\text{ref}} = \frac{1}{k_0} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{\text{ref}}} \right) \quad \text{in (eV)}^{-1}$$

Dabei ist in den Gleichungen (5) und (6)

- A eine Konstante;
- E_{a1}, E_{a2} sind Aktivierungsenergien in eV;
- $k_0 = 8,616 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K};$
- $T_0 = 313 \text{ K};$
- $T_{\text{ref}} = (\theta_{\text{ref}} + 273) \text{ in K};$
- $T_{\text{op}} = (\theta_{\text{op}} + 273) \text{ in K}.$

Die oben verwendeten Temperaturen θ_{ref} und θ_{op} in Grad Celcius bedeuten

- für integrierte Schaltkreise (ICs):
 θ_{ref} : Ersatz-Sperrschichttemperatur unter Referenzbedingungen;
 θ_{op} : tatsächliche Ersatz-Sperrschichttemperatur;
- für diskrete Halbleiter und optoelektronische Bauelemente:
 θ_{ref} : Sperrschichttemperatur unter Referenzbedingungen;
 θ_{op} : tatsächliche Sperrschichttemperatur;
- für Kondensatoren:
 θ_{ref} : Kondensatortemperatur unter Referenzbedingungen;
 θ_{op} : tatsächliche Kondensatortemperatur;
- für Widerstände:
 θ_{ref} : mittlere Temperatur des Widerstandselementes unter Referenzbedingungen (z. B., Schicht);
 θ_{op} : tatsächliche mittlere Temperatur des Widerstandselementes;
- für Induktivitäten:
 θ_{ref} : mittlere Wicklungstemperatur unter Referenzbedingungen;
 θ_{op} : tatsächliche mittlere Wicklungstemperatur;
- für sonstige elektrische Bauelemente:
 θ_{ref} : Referenz-Umgebungstemperatur;
 θ_{op} : tatsächliche Umgebungstemperatur.

5.2.5 Beanspruchungsfaktor π_E für Umgebungsbedingungen

5.2.5.1 Allgemeines

Einige Daten-Handbücher enthalten Anleitungen zur Umrechnung einer Ausfallratenschätzung von einer Umgebungsbedingung in eine andere. Das Konzept erscheint logisch, aber es beinhaltet einige Risiken. Deshalb konzentriert sich diese Norm mehr auf Situationen, bei denen die Basis-Ausfallraten bei Umgebungsbedingungen gesammelt werden, die ähnlich zu denen in der praktischen Anwendung der Bauelemente sind. Siehe B.4.4 hinsichtlich weiterer Informationen.

Der Einfluss der umgebungsbedingten Anwendungsbedingungen auf das Bauelement hängt wesentlich von der Auslegung des Gerätes ab, z. B. wird es beim Einsatz des Gerätes auf Schiffen oder in der Kfz-Umgebung statt in geschützten Räumen (Laborbedingungen) keinen Einfluss durch die Umgebungsbedingungen geben, wenn das Bauelement im Gerät geschützt ist. Ob und welche Umgebungseinflüsse vorkommen, hängt deshalb wesentlich vom Gerätehersteller ab. Es ist die Aufgabe einer Organisation, für eine spezifische Umgebung zu entwickeln. Kann der Einfluss dieser Beanspruchungen nicht vermieden werden, dann sind spezifische Untersuchungen für diese Geräte notwendig.

Kommen die einzig verfügbaren Ausfallratendatenbücher von einer Quelle mit sehr unterschiedlichen Umgebungsbedingungen, dann ergibt sich die Notwendigkeit für einen Beanspruchungsfaktor für Umgebungsbedingungen. Die Verwendung eines solchen Beanspruchungsfaktors für Umgebungsbedingungen bedeutet anzunehmen, dass eine härtere Umgebung die Aktivierung interner Ausfallmechanismen in einer vorher-sagbaren mehr oder weniger linearen Weise verursacht. Es gibt Situationen, in denen diese Annahme falsch ist. Wenn ein Bauelement, das für stationäre Geräte entwickelt wurde, unter harten Schlag- und Vibrationsbedingungen verwendet wird – was alle Bauelemente in einigen Stunden zerstören kann –, dann könnte ein π_E -Faktor berechnet werden, aber dieser ist nicht sinnvoll. Die einzige Lösung ist, das Bauelement nicht in dieser Umgebung zu verwenden.

Der Beanspruchungsfaktor für Umgebungsbedingungen π_E sollte mit Vorsicht gehandhabt werden.

Tabelle 4 – Beanspruchungsfaktor für Umgebungsbedingungen π_E

Stationäre Anwendung in wettergeschützten Einsatzorten	Stationäre Anwendung in teilweise wettergeschützten und nicht wetter- geschützten Einsatzorten	Tragbare und ortsveränderliche Anwendung, Installation in Boden- fahrzeugen
E1	E2	E3
1	2	4

ANMERKUNG Ausfallratendatenbücher eines Bauelementeherstellers geben oft Hinweise, wie die Ausfallrate auf andere Betriebs- und Umgebungsbedingungen überführt werden kann.

5.2.5.2 Faktor π_S für die Abhängigkeit von der Schalthäufigkeit

Dieser π -Faktor berücksichtigt die Anzahl S der Schaltspiele je Stunde und wird nur für Relais verwendet.

$$a) \quad \pi_S = 1 \text{ für } 0,01 < S < S_{\text{ref}} \quad (7)$$

ANMERKUNG Bei geringer Schaltspielanzahl je Stunde ($S < 0,01$) kann der Faktor $\pi_S = 1$ für hermetisch abgedichtete Öffnerkontakte, die normalerweise geschlossen sind, oder bei geringer Last für nicht abgedichtete Schließerkontakte, die normalerweise geöffnet sind, den Wert 100 annehmen.

$$b) \quad \pi_S = S/S_{\text{ref}} \text{ für } S > S_{\text{ref}} \quad (8)$$

Dabei ist

S die Schaltspielanzahl je Stunde;

S_{ref} die Referenz-Schaltspielanzahl je Stunde.

5.2.5.3 Faktor π_{ES} für die Abhängigkeit von der elektrischen Beanspruchung

Dieser π -Faktor ist nur für bestimmte Bauteile anwendbar und wird im Detail in den entsprechenden Abschnitten erklärt.

5.2.6 Sonstige Einflussfaktoren

Andere Beanspruchungsfaktoren sind für einzelne Bauelementetypen im Abschnitt 6 angegeben, soweit die Abhängigkeit bekannt ist.

Derzeit können keine allgemein anwendbaren Umrechnungsmethoden für die Abhängigkeit der Ausfallrate von Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, mechanischer Beanspruchung usw. angegeben werden.

Sofern die Abhängigkeit der Ausfallrate von diesen Beanspruchungen bekannt ist, sollte sie berücksichtigt werden.

Ist die Abhängigkeit der Ausfallrate von diesen Beanspruchungsarten nicht bekannt, aber als Funktion dieser Beanspruchungsarten zu erwarten, können entsprechende Untersuchungen erforderlich sein.

6 Spezifische Referenzbedingungen und Beanspruchungsmodelle

6.1 Integrierte Halbleiter-Schaltkreise

6.1.1 Referenzbedingungen

Die folgenden Empfehlungen für die Referenztemperaturen in Tabelle 5 bis Tabelle 9 basieren auf einer Bauelemente-Umgebungstemperatur von 40 °C und entsprechen der Mehrzahl der Bauelementeanwendungen in Geräten.

Die Referenz-Eigenerwärmung $\Delta T_{ref} = P_{ref} \cdot R_{th,amb}$ ist anzugeben, wenn Referenztemperaturen verwendet werden, die von den in den Tabellen angegebenen abweichen.

Für jeden integrierten Schaltkreis werden im Allgemeinen zwei Wärmewiderstände berücksichtigt, einer zwischen Sperrschicht und Gehäuse und der andere zwischen Gehäuse und Umgebung. Der oben angegebene Wärmewiderstand $R_{th,amb}$ sollte der sein, der für die betrachtete Anwendung am bedeutendsten ist.

Wird eine Ausfallrate für eine Umgebungstemperatur von 40 °C angegeben, dann sind die Referenzverlustleistung P_{ref} und der Wärmewiderstand $R_{th,amb}$ zur Umgebung, für welche der Wert gilt, mit anzugeben.

Tabelle 5 – Speicher

Bauelement		θ_{ref} (°C)	Anmerkung
Bipolar	RAM, FIFO statisch	75	–
	PROM	75	
MOS, CMOS, BICMOS	RAM dynamisch	55	
	RAM, FIFO statisch langsam (≥ 30 ns) statisch schnell (< 30 ns)	55	
	ROM mask	55	
	EPROM, OTPROM UV löschbar	55	
	FLASH	55	
	EEPROM, EAROM	55	

Tabelle 6 – Mikroprozessoren und Peripherie, Mikrocontroller und Signalprozessoren

Bauelement		θ_{ref} (°C)	Anmerkung
Bipolar		70	–
NMOS	Anzahl der Transistoren ≤ 50 k	70	
	Anzahl der Transistoren > 50 k	90	
CMOS	Anzahl der Transistoren ≤ 5 k	50	
	Anzahl der Transistoren > 5 k bis 50 k	60	
	Anzahl der Transistoren > 50 k bis 500 k	80	
	Anzahl der Transistoren > 500 k	90	
BICMOS		75	

Tabelle 7 – Digitale Familien- und Bus-Interface-Schaltkreise, Bustreiber- und Empfängerschaltungen

Bauelement		θ_{ref} (°C)	Anmerkung
Bipolar	TTL, -LS, -A(L)S, -F Logik	45	–
	Bus-Interface	55	
	TTL S Logik + Bus-Interface	80	
	ECL 10 k	65	
	100 k	75	
	10(LV)E(L) / 100(LV)E(I)(P)	60	
CMOS	HCMOS, CMOS B, AC MOS (FCT, HC, A(U),C, LVX), (LVC, LCX, LV) (VCX, ALVC, AVC, AHC, VHC) Logik	45	$U_{\text{ref}} = 5$ V
	Analogschalter, Bus-Interface		
	Bus-Interface GTL(p)	50	
	Bustreiber / Receiver RS422, RS423, RS485, CAN etc. RS232, RS644/899, CML etc.	55	
BICMOS	Logik	45	–
	Bus-Interface ABT, BCT LVT, ALVT GTL(p) BTL, ETL	50	
		50	
		50	
		95	
	Bustreiber / Receiver	55	

Tabelle 8 – Analoge integrierte Schaltkreise (IC)

Bauelement		θ_{ref} (°C)	Anmerkung
Operationsverstärker, Komparatoren und Spannungsüberwachung	Bipolar, BIFET	55	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}} = 0,7$
	CMOS	45	
Referenzelemente	alle Technologien	45	–
Schaltregler	alle Technologien	55	
Leistungsverstärker und Regler (alle Technologien)	≤ 1 W	70	
	> 1 W	90	
Hochfrequenz IC (> 100 MHz)			
HF-Modulator, Demodulator PLL, VCO	bipolar	65	
	CMOS, BICMOS	45	
Transmitter, Receiver	bipolar	70	
	CMOS, BICMOS	45	
Leistungsverstärker / Receiver	GaAs	80	

Tabelle 9 – Anwendungsspezifische integrierte Schaltkreise (ASICs)

Bauelement		θ_{ref} (°C)	Anmerkung	
ASICs, Full Custom, Gate Arrays, Telecom ICs, A/D-Konverter			—	
Bipolar	TTL	55		
	ECL	70		
	HV (> 50 V)	80		
NMOS		55		
CMOS, BICMOS	digital, analog / gemischt	Anzahl der Transistoren ≤ 50 k		55
		Anzahl der Transistoren > 50 k bis 50 M		70
		Anzahl der Transistoren > 50 M		80
	HV (> 50 V)	75		
Programmierbare ASICs (PLD) nicht löschbar				
Bipolar	TTL	80		
	ECL	85		
CMOS	(anti-fuses)	80		
Programmierbare ASICs (PLD) löschbar				
NMOS, CMOS	RAM basis			80
	EPROM basis	Anzahl der Transistoren ≤ 5 k	70	
	EEPROM basis	Anzahl der Transistoren > 5 k	80	
	Flash-EPROM		80	

6.1.2 Beanspruchungsfaktoren

6.1.2.1 Modelle

Die Ausfallrate unter Betriebsbedingungen nach Gleichung (2)^{N2)} ist:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \cdot \pi_U \cdot \pi_T \quad \text{für digitale CMOS und bipolare analoge integrierte Schaltkreise (ICs);} \quad (9)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \cdot \pi_T \quad \text{für alle sonstigen integrierten Schaltkreise (IC).} \quad (10)$$

Die Beanspruchungsfaktoren für Spannungs- und Temperaturabhängigkeit sind in 6.1.2.2 und 6.1.2.3 angegeben.

6.1.2.2 Spannungsabhängigkeit, Faktor π_U

Die Spannungsabhängigkeit wird nur für digitale CMOS und bipolare analoge integrierte Schaltkreise (ICs) nach Gleichung (3)^{N3)} berücksichtigt. Es werden die in Tabelle 10 angegebenen Konstanten C_1 , C_2 und C_3 angewendet, sofern dafür keine anderen Werte angegeben sind. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 und Tabelle 12 dargestellt.

^{N2)} Nationale Fußnote: Im IEC-Original steht hier fälschlicherweise Gleichung (1), richtig ist jedoch Gleichung (2).

^{N3)} Nationale Fußnote: Im IEC-Original steht hier fälschlicherweise Gleichung (9), richtig ist jedoch Gleichung (3).

Tabelle 10 – Konstanten für Spannungsabhängigkeit

Integrierter Schaltkreis	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}}$	U_{ref}	C_1	C_2	C_3
Digitale CMOS-Familie	–	5 V	$0,1 \text{ V}^{-1}$	1	–
Analog	0,7	–	–	4,4	1,4

Tabelle 11 – Faktor π_U für digitale integrierte CMOS-Schaltkreise

$U_{\text{op}} (\text{V})$	≤ 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Faktor π_U	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7

Tabelle 12 – Faktor π_U für bipolare analoge integrierte Schaltkreise

$U_{\text{op}}/U_{\text{rat}}$	$\leq 0,3$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Faktor π_U	0,75	0,77	0,80	0,87	1,0	1,3	1,8	3,0

6.1.2.3 Temperaturabhängigkeit, Faktor π_T

Der nach Gleichung (6)^{N4)} angegebene Zusammenhang gilt nur bis Bemessungssperrschichttemperatur. Dabei werden die in Tabelle 13 angegebenen Konstanten A , E_{a1} und E_{a2} angewendet, sofern keine anderen Werte dafür angegeben sind. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 und Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 13 – Konstanten für Temperaturabhängigkeit

	A	E_{a1} (eV)	E_{a2} (eV)
Integrierte Schaltkreise (ohne EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM)	0,9	0,3	0,7
EPROM, OPTROM, EEPROM, EAROM	0,3	0,3	0,6

Der Faktor π_T folgt aus Tabelle 14 und Tabelle 15

- als eine Funktion der tatsächlichen Ersatz-Sperrschichttemperatur

$$\theta_{\text{op}} = \theta_{\text{amb}} + P_{\text{op}} \cdot R_{\text{th,amb}} \quad \text{in } ^\circ\text{C}^{\text{N5)}} \quad (11)$$

- und als eine Funktion der Ersatz-Sperrschichttemperatur unter Referenzbedingungen (siehe 6.1)

$$\theta_{\text{ref}} = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \quad \text{in } ^\circ\text{C}, \quad (12)$$

wobei ΔT_{ref} gemessen oder berechnet wird mit $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \cdot R_{\text{th,amb}}$.

N4) Nationale Fußnote: Gleichung (6) statt Gleichung (5).

N5) Nationale Fußnote: P_{op} statt P .

Tabelle 14 – Faktor π_T für integrierte Schaltkreise (ohne EPROM, FLASH-EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM)

θ_{ref} (°C) (siehe 5.6.1)	Faktor π_{T} für θ_{op} (°C)																					
	≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	175
40	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	4,1	5,1	6,3	7,7	9,6	12	18	28	44	67	102	275
45	0,44	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,4	4,1	5,1	6,3	7,8	9,7	15	23	36	55	83	225
50	0,36	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,8	3,4	4,2	5,2	6,4	8	12	19	29	45	68	184
55	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,3	2,8	3,4	4,2	5,3	6,5	10	16	24	37	56	150
60	0,24	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,3	2,8	3,5	4,3	5,3	8,2	13	20	30	46	123
65	0,2	0,24	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,8	3,5	4,4	6,7	10	16	24	37	100
70	0,16	0,2	0,24	0,3	0,37	0,45	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,9	3,6	5,5	8,5	13	20	30	82
75	0,13	0,16	0,2	0,24	0,3	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,9	4,5	6,9	11	16	25	67
80	0,11	0,13	0,16	0,2	0,24	0,29	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,3	3,6	5,69	8,6	13	20	54
85	0,087	0,11	0,13	0,16	0,2	0,24	0,29	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,9	4,5	7	11	16	44
90	0,07	0,086	0,11	0,13	0,16	0,19	0,24	0,29	0,35	0,43	0,53	0,66	0,81	1	1,2	1,5	2,4	3,7	5,6	8,7	13	36
95	0,057	0,07	0,085	0,1	0,13	0,16	0,19	0,23	0,29	0,35	0,43	0,53	0,65	0,81	1	1,2	1,9	3	4,6	7	11	29
100	0,046	0,056	0,069	0,084	0,1	0,13	0,15	0,19	0,23	0,28	0,35	0,43	0,53	0,65	0,81	1	1,5	2,4	3,7	5,6	8,5	23

Tabelle 15 – Faktor π_T für EPROM, FLASH-EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM

θ_{ref} (°C)	Faktor π_{T} für θ_{op} (°C)																					
	≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	175
55	0,16	0,22	0,3	0,41	0,55	0,75	1	1,3	1,8	2,3	3,1	4,0	5,2	6,7	8,6	11	18	28	43	65	96	238

6.2 Diskrete Halbleiter

6.2.1 Referenzbedingungen

Die folgenden Empfehlungen für die Referenztemperaturen in Tabelle 16 bis Tabelle 19 basieren auf einer Bauelemente-Umgebungstemperatur von 40 °C und entsprechen der Mehrzahl der Bauelementeanwendungen in Geräten.

Die Referenz-Eigenerwärmung $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \cdot R_{\text{th,amb}}$ ist anzugeben, wenn andere als die in den Tabellen 16 bis 19 angegebenen Referenztemperaturen verwendet werden. Wird eine Ausfallrate für eine Umgebungstemperatur von 40 °C angegeben, dann sind die Referenzverlustleistung P_{ref} und der Wärmewiderstand $R_{\text{th,amb}}$ zur Umgebung, für welche der Wert gilt, mit anzugeben.

Für diskrete Halbleiter werden im Allgemeinen zwei Wärmewiderstände berücksichtigt, einer zwischen Sperrschicht und Gehäuse und der andere zwischen Gehäuse und Umgebung. Der oben angegebene Wärmewiderstand $R_{\text{th,amb}}$ sollte der sein, der für die betrachtete Anwendung am bedeutendsten ist.

Tabelle 16 – Transistoren allgemein, niederfrequent

Bauelement		θ_{ref} (°C)	Anmerkung
Bipolar, universal	z. B. TO18, TO92, SOT(D)(3)23 oder ähnliche	55	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}} = 0,5$
Transistor Arrays		55	
Bipolar, Kleinleistung	z. B. TO5, TO39, SOT223, SO8, SMA-SMC	85	
Bipolar, Leistung	z. B. TO3, TO220, D(D)-Pack	100	
FET	Sperrschicht	55	
	MOS	55	
MOS Leistung (SIPMOS)		100	

Tabelle 17 – Mikrowellen-Transistoren, z. B. RF > 800 MHz

Bauelement		θ_{ref} (°C)	Anmerkung
Bipolar	Breitband, Kleinsignal	55	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}} = 0,5$
	Leistung	125	
GaAs FET	Kleinsignal, rauscharm	95	
	mittlere Leistung	110	
	Hochleistung	145	
MOSFET	Breitband, Kleinsignal	55	
	Leistung	125	