

Inhalt

1.	Allgemeines	3
1.1	Begriffserklärung	3
1.2	Anforderungen und Anwendungsklassen	3
1.3	Zuverlässigkeit von Bauelementen und Geräten	4
1.4	Angaben in Datenblättern	6
2.	Widerstände	8
2.1	Festwiderstände	9
2.2	Einstellbare Widerstände	14
2.3	Heiß- und Kaltleiter	16
2.4	Spannungsabhängige Widerstände	18
3.	Kondensatoren	20
3.1	Allgemeines	21
3.2	Bauarten von Kondensatoren	23
3.3	Kondensatoren in Stromkreisen	31
4.	Spulen	34
4.1	Allgemeines	34
4.2	Bauarten von Spulen	36
4.3	Spulen in Stromkreisen	41
5.	Stromleitung in Festkörpern	44
5.1	Bändermodell	44
5.2	Eigenleitung	46
5.3	Störstellenleitung	48
6.	Halbleiterdioden	50
6.1	Halbleiteraufbau und -eigenschaften	50
6.2	Bauarten von Halbleiterdioden	53
6.3	Zenerdioden	63
6.4	Spezielle Dioden	67
7.	Bipolare Transistoren	72
7.1	Arbeitsweise von Transistoren	72
7.2	Aufbau und Bauformen bipolarer Transistoren	74
7.3	Kennlinienfelder und Kennwerte	77
7.4	Transistordaten und Datenblätter	86
8.	Unipolare Transistoren	89
8.1	Sperrschicht-Feldeffekttransistoren	89
8.2	MOS-Feldeffekttransistoren	92
9.	Bauelemente der Optoelektronik	94
9.1	Fotowiderstände	94
9.2	Fotoelemente und Solarzellen	96
9.3	Fotodioden	98
9.4	Fototransistoren	99
9.5	Leuchtdioden (LED)	100
9.6	Opto-Koppler	101
10.	Spezielle Halbleiterbauelemente	103
10.1	Hallgeneratoren	103
10.2	Feldplatten und Magnetdioden	105
10.3	Druckabhängige Halbleiterbauelemente	106
10.4	Flüssigkristall-Bauteile	107

Emden im Januar 2008

Prof. Dr.-Ing. G. Schenke

1. Allgemeines

1.1 Begriffserklärung

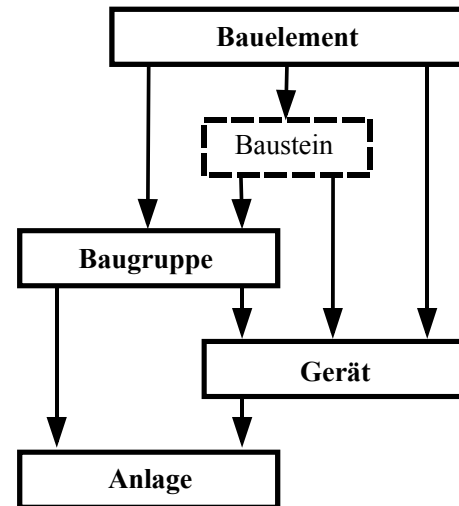
Bauelement: Nach DIN 40150 ist das Bauelement hinsichtlich der Datenangaben, der Prüfung, dem Vertrieb, der Anwendung und Instandsetzung die kleinste, nicht weiter zerlegbare Einheit.

Bauteil, Baustein: Mit Bauteil oder Baustein wird nach DIN 40150 eine Zusammenfassung von wenigen Bauelementen bezeichnet (Funkentstörereinheit, Leistungsbaustein).

Baugruppe: Mehrere Bauelemente oder Bausteine bilden eine Baugruppe. Diese ist noch nicht selbständig verwendbar (Netzgerät eines Fernsehgerätes).

Gerät: Das Gerät ist eine Zusammenschaltung von Bauelementen, Bauteilen und Baugruppen zu einer selbständig verwendbaren Einheit (Fernsehgerät, PC, Multi-meter).

Anlage: Die Zusammenschaltung mehrerer Geräte und Baugruppen zu einem bestimmten Anwendungszweck wird allgemein als Anlage bezeichnet (Sendeanlage, Rechenanlage, Automatisierungsanlage).



Begriffe für Baueinheiten nach DIN 40150

Elektronik:

Mit der Elektronik wird derjenige Zweig der Wissenschaft und der Technik bezeichnet, der sich mit den Leitungsvorgängen im Vakuum, in Gasen und in Halbleitern sowie mit der Anwendung dieser Vorgänge befasst.

Aktive und passive Bauelemente der Elektronik:

- Die eigentlichen elektronischen Bauelemente, in denen die Leitungsvorgänge in Halbleitern, im Vakuum und in Gasen vorgehen, bezeichnet man als aktive Bauelemente der Elektronik (Dioden, Transistoren, Röhren, Thyristoren).
- Die anderen Bauelemente in elektronischen Schaltungen sind passive Bauelemente der Elektronik (Widerstände, Kondensatoren, Spulen).

1.2 Anforderungen und Anwendungsklassen

Anforderungen an die Bauelemente der Elektronik

Abhängig von den Betriebsbedingungen können mehrere Einflüsse zugleich auftreten:

- Kälte, trockene oder feuchte Wärme, Vakuum, Strahlungseinfluss jeglicher Art, Nässe, Stöße, mechanische Schwingungen sowie elektromagnetische Felder.

Bauelemente für normale Anforderungen:

- Diese Bauelemente werden in sehr hoher Zahl verhältnismäßig preiswert zur Bestückung von elektronischen Konsumartikeln, wie Haushalts-, Fernseh-, Rundfunkgeräten und PC's hergestellt. Ein gelegentliches Versagen dieser Geräte kann allgemein keine größeren materiellen Schäden verursachen.

Bauelemente für erhöhte Anforderungen im Bereich der Industrielektronik:

- In Geräten und Anlagen, deren Ausfall zu größeren materiellen Schäden oder zur Gefährdung von Menschenleben führen kann, werden zum größeren Teil Bauelemente für erhöhte Anforderungen eingesetzt. Dazu gehören auch Geräte, von denen hohe Genauigkeit und sehr gute Langzeitkonstanz gefordert werden.

- Die Herstellung und Auswahl dieser Bauelemente erfordert mehr Arbeitsaufwand, sie sind teurer als solche für normale Anforderungen. Damit steigt auch der Preis der genannten Geräte.

Genormte Anwendungsklassen

Die Norm DIN 40040 gibt Richtlinien für das Bilden von Anwendungsklassen und Zuverlässigkeitsangaben für Bauelemente der Elektronik. Sie bezieht sich auf die Einsetzbarkeit dieser Bauelemente unter bestimmten klimatischen und mechanischen Beanspruchungen.

Unter Zuverlässigkeit versteht man in diesem Zusammenhang den Grad der Eignung eines Bauelements, seine Aufgaben unter festgelegten Bedingungen während einer gegebenen Zeit zu erfüllen.

Nach DIN 40040 werden zur Kennzeichnung der Bauelemente aus Kennbuchstaben zusammengesetzte Kurzzeichen empfohlen:

- Klimatische Anwendungsklasse
 - 1. Stelle: Untere Grenztemperatur
 - 2. Stelle: Obere Grenztemperatur
 - 3. Stelle: Feuchte-Beanspruchung (Jahresmittelwert, Höchstwert)
- Zuverlässigkeitsangabe
 - 4. Stelle: Ausfallquotient
 - 5. Stelle: Beanspruchungsdauer
- Mechanische Anwendungsklasse
 - 6. Stelle: Mechanische Beanspruchung
 - 7. Stelle: Luftdruck (Betriebshöhe über Meeresspiegel)
 - 8. Stelle: Sonderbeanspruchung (Wasser, Staub, Strahlung)

1.3 Zuverlässigkeit von Bauelementen und Geräten

Ausfallursachen

Unter Zuverlässigkeit versteht man den Grad der Eignung eines Bauelementes oder Gerätes, in einem gegebenen Zeitraum unter gegebener Belastung fehlerfrei zu funktionieren.

Ausfälle von Bauelementen werden durch Überlastung (Betrieb oder Lagerung außerhalb der Grenz-/Kennwerte) oder durch das Erreichen der Lebensdauer verursacht.

Durchschnittliche Lebensdauer

Die Lebensdauer eines Bauelementes ist dann erreicht, wenn ein oder mehrere wichtige elektrische Kennwerte die Toleranzgrenze überschreiten. In diesem Zeitpunkt gilt das Bauelement als ausgefallen.

Die durchschnittliche Lebensdauer t_m gleichartiger Bauelemente ist der arithmetische Mittelwert der Lebensdauer einer großen Anzahl dieser Bauelemente. Sie wird mittels Stichprobe bei gleichartiger Belastung vieler dieser Bauelemente ermittelt.

$$t_m = \frac{\sum_{v=1}^n t_{mv}}{n} \quad (1.1)$$

Der Ausfall einer Baugruppe, eines Gerätes oder einer Anlage lässt sich mit wenigen Ausnahmen durch einen Ersatz der defekten Bauelemente beheben. Der Ausfall eines Gerätes bedeutet nicht das Ende seiner Lebensdauer.

Während der „Gebrauchszeit“ eines Gerätes können mehrere Ausfälle auftreten, die durch Instandsetzung behoben werden.

Der mittlere Ausfallabstand t_m wird analog nach Gl. 1.1 bestimmt. Er wird auch MTBF (meantime between failures) genannt und ist ein wichtiges Zuverlässigkeits- und Qualitätsmerkmal bei Geräten und Anlagen.

Ausfallrate

Die Ausfallrate λ ist der auf die überlebenden Exemplare einer Beobachtungsmenge von Bauelementen bezogene Bruchteil von Ausfällen pro Zeiteinheit. Sie ist ein Qualitätsmerkmal für Bauelemente der Elektronik und ermöglicht das Abschätzen des mittleren Ausfallabstandes von elektronischen Geräten und Anlagen.

Die Überlebenskennlinie L in Abhängigkeit von der Betriebszeit t kann bei gegebener Ausgangsmenge L_0 nach Gl. 1.2 angegeben werden. Der Anteil der betriebsfähigen Elemente ist der relative Wert L/L_0 .

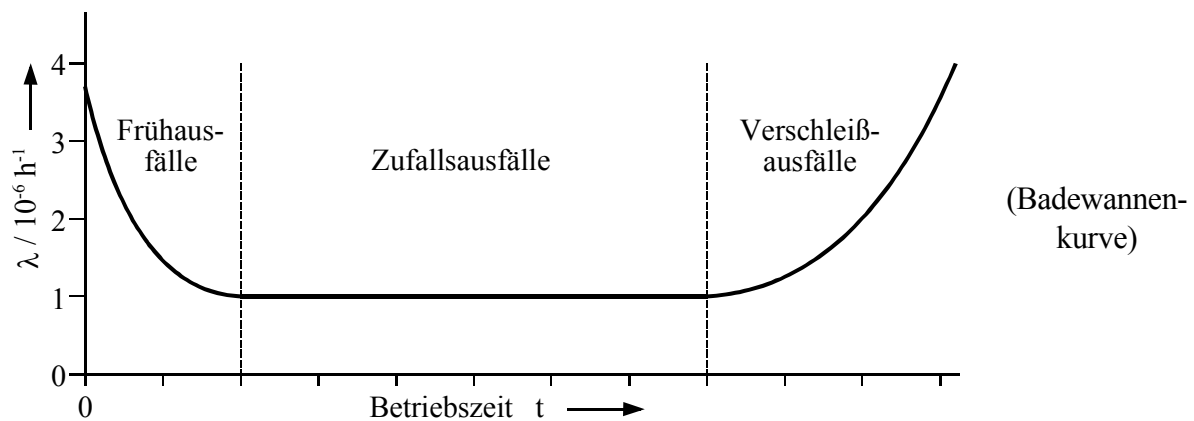
$$L = L_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (1.2)$$

Frühausfälle können durch Eingangsprüfungen und durch Belastungszyklen vor dem Einbau (Voralterung) in Geräte und Anlagen ausgesondert werden.

Im verhältnismäßig langen Bereich der Zufallsausfälle bleibt die Ausfallrate konstant. Dies ist der eigentliche Betriebsbereich. Es gilt hier:

$$\lambda = \frac{1}{t_m} \quad (1.3)$$

Am Ende der durchschnittlichen Lebensdauer nehmen die Verschleißausfälle zu. Erfolgt der Ersatz der gefährdeten Bauelemente rechtzeitig, kann ein Anstieg der Ausfallrate vermieden werden.



Verlauf der Ausfallrate λ während der Betriebszeit mit Früh- und Verschleißausfällen

Bauelement	Ausfallrate λ in $10^{-8} \cdot \text{h}^{-1}$
Schichtwiderstand	1 ... 2
MP-Kondensator	1 ... 2
Al-Elektrolytkondensator	20 ... 50
Si-Diode	0,3 ... 1
Si-Transistor	1 ... 5
Integrierte Schaltung	10 ... 20
Steckkontakt, seltener Steckvorgang	10
Lötverbindung	0,5
Relais, geringe Schaltzahl	50

Mittlere Ausfallraten von Bauelementen

Werden mehrere Bauelemente in einer Baugruppe in einem Gerät oder einer Anlage so zusammengeschaltet, dass der Ausfall eines Bauelementes zum Ausfall der Gesamtschaltung führt, dann ist die Ausfallrate des Gerätes gleich der Summe der Ausfallraten der Einzelelemente.

$$\lambda_{\text{ges}} = \sum_{v=1}^n \lambda_v \quad (1.4)$$

Bei einem Gerät mit n Bauelementen gleicher Ausfallrate λ ergibt sich der mittlere Ausfallabstand (MTBF) t_m nach Gl. 1.5.

$$t_m = \frac{1}{n \cdot \lambda} \quad (1.5)$$

Der mittlere Ausfallabstand (MTBF) eines Gerätes oder einer Anlage verringert sich, wenn die Anzahl der Bauelemente, deren Ausfall zum Ausfall des Gerätes führt, vergrößert wird. Es sei denn, die Qualität der Bauelemente wird in gleichem Maße erhöht, d.h. es werden Bauelemente mit entsprechend kleiner Ausfallrate gewählt.

In industriell genutzten Baugruppen, Geräten und Anlagen werden die Bauelemente mehr oder weniger überdimensioniert. Der mittlere Ausfallabstand wird hierdurch vergrößert.

In umfangreichen Anlagen werden oft mehrere gleichartige Funktionszweige parallelgeschaltet, so dass bei Ausfall eines Zweiges die Anlage betriebsfähig bleibt (MTBF deutlich größer).

Empfehlungen für den Einsatz von elektronischen Bauelementen

1. Keine Schaltung ist zuverlässiger als ihr schwächstes Glied. Bei der Auswahl der Bauelemente sollte man daher die klimatischen und mechanischen Beanspruchungen sowie die Anforderungen an die Funktionszuverlässigkeit berücksichtigen. Da Bauelemente hoher Qualität sehr viel teurer sind als solche für normale Anwendungen, muss dieser Punkt besonders sorgfältig überlegt werden.
2. Einfache und übersichtliche Schaltungen mit möglichst wenigen Bauelementen sind zu bevorzugen.
3. Die Schaltungen sind so zu dimensionieren, dass die Bauelemente im Normalbetrieb nur mit einem Teil der Nennlast beansprucht werden. Eine Ausnahme bilden Elektrolytkondensatoren, deren durchschnittliche Lebensdauer bei erheblicher Unterspannung abnimmt.

1.4 Angaben in Datenblättern

Das Datenblatt gibt eine umfassende Auskunft über die mechanische und elektrischen Eigenschaften von Bauelementen. Die Gliederung, der Inhalt und die zu verwendenden Kurzzeichen in solchen Datenzusammenstellungen werden abhängig von der Art und Funktion des Bauelementes nach DIN 41791 und DIN 41785 festgelegt.

1. Kurzbeschreibung des Bauelementes:
Die Kurzbeschreibung des Bauelementes enthält die Typenbezeichnung, den Hersteller, die Technologie (Material und Herstellungsverfahren) und den Anwendungsbereich.
2. Gehäusedaten:
Dazu gehören Werkstoffe und Verkapselung, die Zeichnung, die Kennnummern der Anschlüsse sowie bestimmte Markierungspunkte.
3. Mechanische Daten:
Hier findet man die Anwendungsklassen und Montagebedingungen (z.B. kleinster Abstand vom Gehäuse, in dem Anschlussdrähte abgebogen werden dürfen).
4. Grenzwerte:
Diejenigen Strom-, Spannungs-, Temperatur- und Leistungswerte sowie mechanische Einflussgrößen, die in keinem Fall überschritten werden dürfen, werden Grenzwerte genannt. Da Grenzwerte die absolute, äußerste Grenze darstellen, müssen alle Streuwerte der Schaltung bei der Auslegung berücksichtigt sein.

5. Kennwerte:

Die Kennwerte beschreiben die Eigenschaften und die Funktion eines Bauelementes unter normalen Betriebsbedingungen. Kennwerte werden als Zahlengrößen oder als Kennlinien dargestellt. Zu den meisten Kennwerten gehört eine Temperatur, auf die diese Kennwerte bezogen sind (Bezugstemperatur).

Bei Halbleiterbauelementen unterscheidet man statische und dynamische Kennwerte:

Statische Kennwerte kennzeichnen alle Funktionen eines Bauelementes, die nicht mit einer auf die Zeit bezogenen Arbeitsweise zusammenhängen. Z.B. bei Halbleiterdioden die Durchlassspannung, der Sperrstrom und die Sperrschichtkapazität.

Dynamische Kennwerte geben Auskunft über das Zeitverhalten. Unter den dynamischen Kennwerten findet man bei Transistoren die Schaltzeiten, bei Thyristoren die Zünd- und Freiwerdzeiten usw.

Die Kennwerte der Bauelemente streuen mehr oder weniger stark. In den Datenblättern werden sie daher als Mittelwerte angegeben oder es werden die untern und oberen Grenzen der Streubereiche genannt. Die Streuung der Kennwerte muss besonders bei der Auslegung von Schaltungen berücksichtigt werden.

Im Datenblatt werden die wesentlichen mechanischen und elektrischen Eigenschaften von Bauelementen, wie Gehäusedaten, Anwendungsklassen, Grenz- und Kennwerte genannt.