

Leitfaden
**Langzeitlagerfähigkeit von
Bauelementen, Baugruppen
und Geräten**



Impressum

Leitfaden

**Langzeitlagerfähigkeit von Bauelementen,
Baugruppen und Geräten**

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und
Elektronikindustrie e. V.

Fachverbände Electronic Components and Systems
und PCB and Electronic Systems

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-276

Fax: +49 69 6302-407

E-Mail: zvei-be@zvei.org

www.zvei.org

Verantwortlich: Volker Kaiser

September 2013

Titelbild: FreedomImage-Fotolia, jerryjoz-Fotolia, Jultud-Fotolia,
SG-design-Fotolia, Marquardt GmbH, s.e.t. electronics

Trotz größtmöglicher Sorgfalt übernimmt der ZVEI keine Haftung für
den Inhalt. Alle Rechte, insbesondere die zur Speicherung, Vervielfältigung
und Verbreitung sowie der Übersetzung, sind vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

1. VORWORT	4
2. GRUNDSÄTZLICHE ASPEKTE	5
3. BETRACHTETE KOMPONENTEN	6
4. ALLGEMEINE EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE LAGERUNG UND FEHLERBILDER	7
4.1 Kontamination	7
4.2 Korrosion	7
4.3 Diffusion	8
4.4 Feuchtigkeit	8
4.4.1 Feuchtigkeitsaufnahme	8
4.4.2 Feuchtigkeitsentzug	8
4.5 UV-Licht (Strahlungseffekte)	8
4.6 Versprödung	8
4.7 Lötbarkeit: Benetzung, Entnetzung, Nichtbenetzung	9
4.8 Popcorn-Effekt	9
4.9 Whiskerbildung	10
4.10 Zinnpest	10
5. SPEZIFISCHE EINFLUSSFAKTOREN	11
5.1 Besonderheiten aktive Bauelemente	11
5.2 Besonderheiten passive Bauelemente	12
5.3 Besonderheiten Batterien (und Akkumulatoren)	15
5.4 Besonderheiten Leiterplatten, bestückte Baugruppen und Geräte	18
5.5 Besonderheiten elektromechanischer Bauelemente sowie von Kunststoff-Gehäusen und Konstruktionselementen	20
6. EMPFOHLENER GENERELLER ABLAUF FÜR DIE EINLAGERUNG VON KOMPONENTEN	22
6.1. Checkliste zu allgemeinen Punkten	22
6.2. Ablaufdiagramm zur Langzeitlagerung	23
6.3. Erläuterung der einzelnen Prozessschritte	24
7. ASPEKTE ZUR MINIMIERUNG VON RISIKEN BEI LANGZEITLAGERUNG	28
8. FAZIT UND AUSBLICK	28
9. REDAKTION, BETEILIGTE FIRMEN	29
10. LITERATUR	30

1. Vorwort

Ohne die Fortschritte in der Elektronik wären viele Funktionen und Produkte nicht darstellbar. So haben insbesondere die Vielzahl neuer Anwendungen, sowie deren hohe Stückzahlen, die Innovationsgeschwindigkeit bei der Entwicklung von Bauelementen, Baugruppen und Geräten verstärkt. Die Entwicklungsgeschwindigkeit bei Komponenten steigt stetig an, was anhand des ‚Mooreschen Gesetzes‘ für die Hochintegration von Transistoren in Schaltungen nachgewiesen werden kann.

Die Innovationszyklen werden immer kürzer. Jedes Jahr kommen leistungsfähigere Komponenten hinzu. Beispielweise verkleinerten sich Speicherzellen in den letzten zehn Jahren auf ein Zehntel. Die Konsequenz daraus ist, dass sie alle ein bis zwei Jahre veralten. Ein Ende dieser Entwicklungen ist über 2020 hinaus nicht in Sicht (Quelle: ZVEI Technologieroadmap 2020 – Elektronische Bauelemente und Systeme [17]).

Dem gegenüber steht der Wunsch nach langlebigen Produkten und entsprechend großer Versorgungssicherheit über Jahre hinweg, insbesondere gilt dies für Ersatzbedarfe bei Baugruppen, Systemen und Geräten, als auch für Rohmaterialien, Komponenten und Platinen, wie dies z. B. in der Luft- und Raumfahrt, im Automobilbau, in der Bahntechnik oder auch in der Industrieautomation gefordert wird. Jedoch ist es nicht immer möglich, benötigte Produkte über lange Zeiträume zu produzieren. Deshalb sind Maßnahmen erforderlich, um die Versorgung mit Komponenten auch nach der Serienproduktion aufrecht zu erhalten. Als Konsequenz muss sich jeder Hersteller von Bauelementen, Baugruppen etc. bereits in der Entwicklungsphase Gedanken über die Verfügbarkeit seiner Produkte machen.

Der vorliegende Leitfaden zur Langzeitlagerfähigkeit soll dazu beitragen, eine Versorgungsstrategie für Komponenten zu entwickeln, die über die vom Hersteller zugesicherte Lagerzeiten hinaus bevorratet, verarbeitet und verwendet werden müssen. Bei einer Lagerung ist zu berücksichtigen, welche Einflüsse auf die Bauteile einwirken und welche sich davon später bei der Verarbeitung oder der Funktion als einschränkend bemerkbar machen können.

Im Folgenden werden die Alterungsmechanismen und deren Fehlerbilder beschrieben, die während einer Lagerung oder Verarbeitung relevant sind. Weiterhin bekommt der Leser Empfehlungen zur Gestaltung von Prozessen für die Langzeitlagerung unter Einbeziehung von Lager- und Überwachungsstrategien.

Ein weiterer Aspekt gilt der Sensibilisierung bei der Entwicklung von Baugruppen, Teilsystemen und Geräten. Die richtige Wahl von Materialien und Komponenten in der Designphase ist der Schlüssel für eine erfolgreiche Verlängerung der Lagerfähigkeit von Komponenten und Rohstoffen. Maßgeblich gilt es, die Verarbeitbarkeit und Funktionsfähigkeit zu erhalten.

Dieser ‚Leitfaden zur Langzeitlagerfähigkeit von Bauelementen, Baugruppen und Geräten‘ soll das ZVEI-Weißbuch ‚Langzeitversorgung der Automobilindustrie mit elektronischen Baugruppen‘ aus dem Jahr 2002 ergänzen.

2. Grundsätzliche Aspekte

Unter Langzeitlagerung ist hier die langfristige, d.h. über den vom Hersteller gewährleisteten Zeitraum hinausgehende Aufbewahrung, unter Beibehaltung der funktionalen Bauteilintegrität (fit, form, function) zu verstehen. Die Erhaltung der Bauteilintegrität ist Voraussetzung einer sicheren Weiterverarbeitbarkeit, mittels adäquater Aufbau- und Verbindungstechnik. Ob die betrachteten Komponenten überhaupt oder nur mit eingeschränkter Funktion langzeitlagerfähig sind, kann nur der Hersteller beurteilen. Er sollte auf jeden Fall kontaktiert werden. Ist die geplante Einlagerungszeit kürzer, als die seitens des Herstellers zugesicherte Lagerfähigkeit, sind keine weiteren Maßnahmen notwendig.

Bei der Auswahl der Lagermethode ist die vorgesehene Lagerzeit von großer Bedeutung. Über den vom Hersteller empfohlenen Zeitraum hinaus sind spezielle Lagerbedingungen und Verfahren zu schaffen, welche die Alterungsprozesse signifikant verlangsamen und die Verarbeitbarkeit und Funktionalität erhalten. Es gibt Komponenten, deren maximale Lagerfähigkeit durch keine zusätzlichen Maßnahmen verlängert werden können (z. B. Batterien). Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass schädigende Medien gar nicht erst an sensible Stellen gelangen. Ist eine längere Lagerung von Komponenten geplant, ist der Hersteller vorher zu kontaktieren, um bei Bedarf, eine gemeinsame Vorgehensweise zu definieren.

Verpackungen haben Einfluss auf die Lagerfähigkeit. So können ‚Langzeitverpackungen‘ erheblich aufwendiger sein als Standardverpackungen. Zudem müssen in vielen Fällen auch Teilentnahmen und die Wiedereinlagerung beachtet werden. Die Verpackung ist so zu wählen, dass ein eventuell notwendiges Handling mit Entnahme und Partitionierung während der Langzeitlagerung realisiert werden kann. Die Verpackung muss – wenn nötig – den ESD-Schutz und Feuchtigkeitsschutz für die gewählte Lagerungszeit sicherstellen.

Zur Lagerung sollte möglichst ‚frische Ware‘ verwendet werden. Falls nicht, sind die vorangegangenen Lagerbedingungen mit zu berücksichtigen.

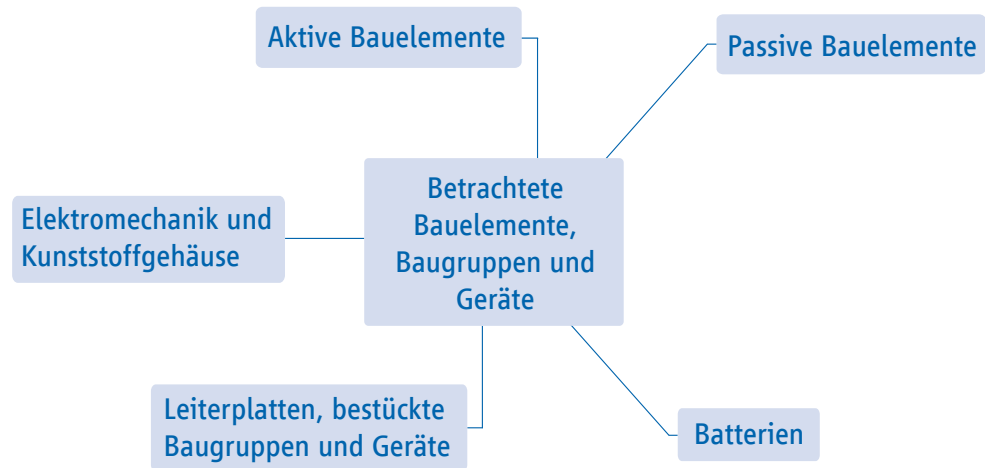
Hinzu kommt, dass sich z. B. durch Umweltgesetzgebungen, Restriktionen und rechtliche Änderungen der Rahmenbedingungen Veränderungen bei der Herstellung und Verarbeitung von Baugruppen, Geräten wie auch bei Komponenten und Rohmaterialien ergeben können. Zum Beispiel geschieht die Substitution von bleihaltigen Oberflächenbeschichtungen durch modifizierte Schichtsysteme, so dass Alterungseffekte durch die Lagerung deutlich früher eintreten können.

Zu berücksichtigen ist, dass die bauteilspezifischen Verarbeitungsbedingungen wie z. B. Löt-/Gehäuse-Temperaturprofile und Vorbehandlung archiviert und wieder einstellbar sind. Das verhindert, dass eine erneute Charakterisierung von Produktionsbedingungen durchgeführt werden muss. Diese eingefahrenen Prozesse sind entlang der Wertschöpfungskette sicherzustellen. Bei Produktionsverlagerungen sind die Lagerungs- und Verarbeitungsparameter unverändert zu übernehmen und bei Bedarf erneut zu qualifizieren.

Zur Bewertung sämtlicher Randbedingungen und Einflussfaktoren wird die Durchführung einer Risikobewertung, sowohl für die Funktionalität als auch für die Verarbeitung, empfohlen. Notwendige Betrachtungen sind möglichst beim Produktdesign schon zu berücksichtigen.

3. Betrachtete Komponenten

Die nachfolgende Grafik zeigt die betrachteten Komponenten, wobei wir in dieser Broschüre mit Komponenten alle nachfolgend aufgeführten Bauelemente, Baugruppen, usw. verstehen.



Berücksichtigte Komponenten

Nicht bewertete Aspekte:

1. Wafer, Bare Die, Known Good Die (KGD): Die Lagerung ist von Herstellern oder Spezialisten durchzuführen.
2. Interaktionen der Verpackungsmaterialien (Beutel, Umverpackung, Folie, Labelling) werden wegen ihrer Vielschichtigkeit nicht bewertet.
3. Einsatz neuer Materialien z. B. durch Umweltgesetzgebung: Bisher sind noch keine gesicherten Aussagen über eine Langzeitlagerung von bleifreien Produkten, Kupferbonding, Vergussmassen, usw. möglich. Es ist jedoch zu erwarten, dass die bisherigen Fehlermechanismen auch auf bleifreie Materialien einwirken.

4. Allgemeine Einflussfaktoren auf die Lagerung und Fehlerbilder

Nachfolgend werden mögliche Einflussfaktoren und Fehlermechanismen beschrieben, die auf viele Komponenten und Baugruppen zutreffen. Für eine sachgemäße Lagerung müssen diese Faktoren berücksichtigt und unterdrückt werden. Produktspezifische Einflussfaktoren werden in den Unterkapiteln beschrieben.

Anspruch auf vollständige und abschließende Auflistung aller Alterungsmechanismen hat diese Broschüre nicht. Die Reihenfolge stellt keine Bewertung oder Gewichtung der Faktoren und Fehlerbilder dar.

4.1 Kontamination

Kontaminationen können durch Ausgasungen aus umgebenden Materialien entstehen. ‚Falsche‘ Materialwahl kann hier trotz Einhaltung der empfohlenen Lagerbedingungen zu Ausfällen führen. Werden die Temperaturgrenzwerte überschritten, ist beispielsweise ein Ausgasen von Weichmachern bei Umverpackungen zu erwarten.

4.2 Korrosion

Korrosion ist der Überbegriff für die Reaktion eines Werkstoffes mit seiner Umgebung. Oxidation dagegen beschreibt nur die Sauerstoff-Korrosion. Einige Korrosionsprodukte dienen als Passivierung, wie dies z. B. bei Zinndioxid (SnO_2) oder auch Nickeloxid (NiO) bekannt ist. Bei den meisten Korrosionsprodukten überwiegt jedoch die zerstörende Wirkung. Die Zersetzungsprodukte bilden z. B. Säureverbindungen, die neben den Kontaktierungsstellen oder Funktionskontakten auch andere Metallteile und Metallbeschichtungen angreifen. Mögliche Folgen wären:

- Verlust der Schirmung
- verminderte Leitfähigkeit von Schalt- und Steckkontakten
- Leckagen von Gehäusen

Bei der Verarbeitung ist zu beachten, dass Korrosion in der Regel die Lötbarkeit vermindert und zur Erhöhung von Kontaktübergangswiderständen führt. Korrosive Mechanismen können durch folgende Faktoren beeinflusst werden:

- Hohe Luftfeuchtigkeit
- Temperatur
- Aerosole (See-Klimate)
- Schad-Atmosphäre z. B. Chlorgas (Cl_2), Stickoxide (NO_x) und Schwefelverbindungen wie z. B. Schwefeldioxid (SO_2), Schwefelwasserstoff (H_2S) (Abgase von Kraftwerken, Chemieanlagen, Kraftfahrzeugen etc.)
- Ausgasungen aus Kunststoffen (Gehäuse, Dichtmittel, Lacke)

Zu beachten ist, dass insbesondere Kleinklimate in den Geräten, Baugruppen oder Bauelementen die Funktions- und Lagerfähigkeit stark einschränken können.



Beispiel für Korrosion an einem elektrischen Kontakt

Bildquelle: Elesta relays



Beispiel für Korrosion an einem Bauteilanschluss (Pin)

Bildquelle: Elesta relays

4.3 Diffusion

Bei der in der Elektronik üblicherweise vorliegenden Diffusion handelt es sich um einen physikalischen Effekt, bei dem ein Gefüge mit anderen Teilchen durchmischt wird. Dieser Effekt, der von der Zeit, den Umweltbedingungen und den zur Verfügung stehenden Diffusionsteilchen abhängig ist, kann negative Auswirkungen haben. Diese sind:

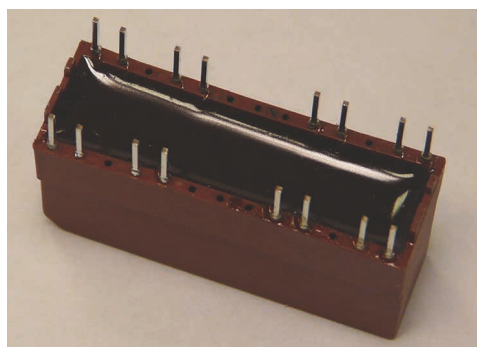
- Veränderung der Lötfähigkeit durch Alterungsmechanismus und Zonenwachstum
- Veränderung der Kontaktschichten, dadurch Beeinflussung der Übergangswiderstände
- Beeinträchtigung von mechanisch/thermischen Eigenschaften durch Veränderung des Feuchtegehaltes

Diffusionssperren können sich unter Umständen positiv auf die Langzeitlagerfähigkeit auswirken. Bei einigen dieser Diffusionssperren z. B. Passivierungsmittel, ist jedoch mit Verschlechterung der Verarbeitbarkeit zu rechnen.

Spezielle Behandlungen vor der Weiterverarbeitung oder deren Geräteeinsatz sind gegebenenfalls notwendig.

4.4 Feuchtigkeit

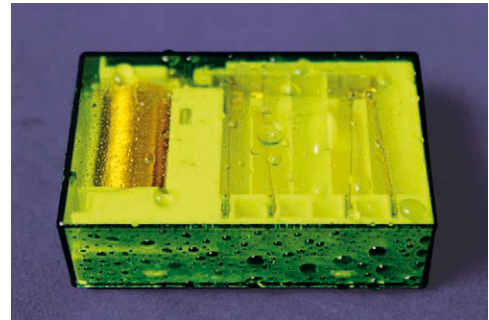
4.4.1 Feuchtigkeitsaufnahme



Bildquelle: Vacuumschmelze

Kunststoffe nehmen ein gewisses Maß an Feuchtigkeit aus der Umgebung auf. Diese Feuchtigkeit lagert sich vorwiegend an den Grenzflächen zwischen Vergussmasse und internen Strukturen der Komponenten an. Aufgrund einer raschen Temperaturerhöhung, z. B. beim Lötvorgang, verdampft diese Feuchtigkeit. Die dadurch verursachte Volumenvergrößerung

kann zu Rissen im Kunststoff bzw. zu Delaminationen an internen Grenzflächen führen. Bei manchen Komponenten kann zu viel Feuchtigkeit zu Betauung führen.



Beispiel für Betauung

Bildquelle: Elesta relays

4.4.2 Feuchtigkeitsentzug

Kunststoffe neigen bei Feuchtigkeitsentzug zur Versprödung (siehe Kapitel 4.6) und Verlust von Form und Maßhaltigkeit.

4.5 UV-Licht (Strahlungseffekte)

Ultraviolette Strahlung (Wellenlängenbereich 100 nm – 400 nm) ist eine für das menschliche Auge nicht sichtbare elektromagnetische Strahlung. Je kürzer die Wellenlänge desto energiereicher ist die Strahlung. Durch Energieeintrag von UV-Strahlungsanteilen aus Leuchtmitteln können organische Bindungen geschädigt werden. Abhängig von der Intensität und Bestrahlungsdauer können bei manchen Kunststoffen Schäden z. B. durch Trübung oder Versprödung entstehen. Für eine Langzeitlagerung von elektronischen Komponenten wird deshalb generell empfohlen, auf eine lichtdichte, insbesondere vor UV-Strahlung schützende, Verpackung zurückzugreifen.

4.6 Versprödung

Das Nachlassen der Fähigkeit zur Verformbarkeit eines Werkstoffs wird Versprödung genannt. Bei Verwendung von spröden Werkstoffen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Bauteile bei der Montage oder im Betrieb mechanisch geschädigt oder zerstört werden. Die irreversible Versprödung wird durch Temperatur, Strahlung oder Gase gefördert. Reversible Versprödung kann bei Lagerung unter geringer Luftfeuchtigkeit auftreten.

4.7 Lötbarkeit: Benetzung, Entnetzung, Nichtbenetzung

Abhängig davon, inwieweit ein Lot fähig ist, auf Substraten eine stabile Lötverbindung einzugehen, gilt es dabei insbesondere die Erscheinungen von Benetzung, Entnetzung und Nichtbenetzung klar zu trennen.

Benetzung beschreibt die Fähigkeit eines schmelzflüssigen Lotes eine intermetallische Verbindung mit dem Grundwerkstoff einzugehen, während bei einer Nichtbenetzung das Lot hierzu nicht imstande ist.

Entnetzung beschreibt den Zustand, der sich nach der eigentlichen Benetzung als Störung entwickeln kann.

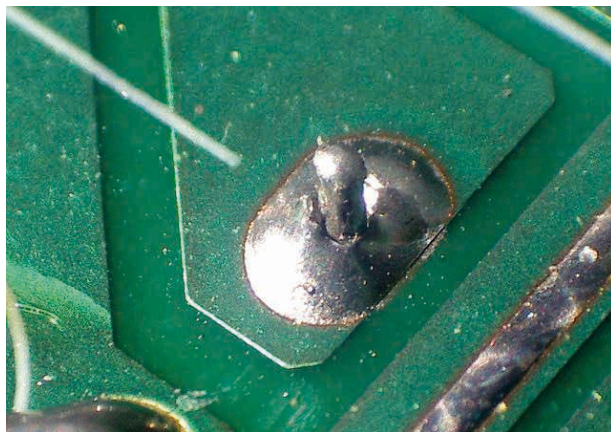
Die Erscheinungsbilder von Be-, Ent- und Nichtbenetzung sind dabei mittels optischer Prüfung gut zuzuordnen. Bei der Benetzung bildet sich eine weitgehend ungestörte Lötstelle aus, welche maßgeblich durch die Benetzungswinkel an den jeweiligen Füge- bzw. Grenzfläche charakterisiert ist.

Im Falle einer Entnetzung zieht sich das Lot aus ursprünglich benetzten Zonen zurück und bildet stark schwankende Lotformationen („Hügel und Plateaus“). In den entnetzten Arealen bleiben nicht erneut benetzbare Bereiche zurück.



Beispiel Entnetzung

Bildquelle: Prüflabor QM 3, Siemens SC Karlsruhe



Beispiel Nichtbenetzung (Quelle: IPC-A-610)

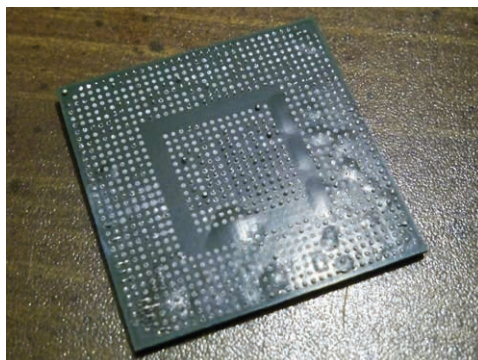
Bildquelle: Coronium – Wikipedia

4.8 Popcorn-Effekt

Der Popcorn-Effekt wird durch falsche Lagerung induziert, z. B. wenn feuchtigkeitsempfindliche, elektronische Komponenten zu lange außerhalb der vor Feuchte schützenden Verpackung gelagert werden. Die Einstufung und Lagerung solcher Komponenten ist in den IPC/JEDEC J-STD-020 [1], IPC/JEPEC J-STD-033 [2] und JEP 160 [3] geregelt.

Durch die Hygroskopie des Kunststoffes von Komponenten reichert sich Wasser vorwiegend in der Gehäusevergussmasse bis zu 0,5 Gewichtsprozent an. Im Reflow-Lötofen verdampft die Feuchtigkeit aufgrund des raschen Temperaturanstiegs, was zu einer abrupten Volumenausdehnung führt. Folgen sind u. a. Risse im Gehäuse und Delamination an Grenzschichten des Substrates.'

(Quelle-Zitat: Wikipedia)



Beispiel durch den Popcorn-Effekt und Feuchtigkeit im Gehäuse (beim Entlötprozess) zerstörtes BGA-Chipgehäuse

Bildquelle: Creative Commons – Wikipedia

4.9 Whiskerbildung

Whisker sind haarförmige Mono-Kristalle, die eine Länge bis zu mehreren Millimetern erreichen können und einen typischen Durchmesser von 0,2 μm bis 10 μm aufweisen. Whisker können Metallbrücken, z. B. zwischen Leiterbahnen auf gedruckten Schaltungen und zwischen anderen Metallflächen, bilden. Neben den bekannten Zinn-Whiskern entstehen Whisker auch bei Zink, Silber, Aluminium, Blei, Gold und deren Legierungen. Neben inneren und äußeren Gefügespannungen sind Faktoren wie Temperatur, Temperaturänderungen und zum Teil Umwelteinflüsse wie Luftfeuchte und Schadstoffgehalt in der Atmosphäre für die Whiskerbildung ursächlich.

Das Whiskerwachstum tritt verstärkt bei mittleren Temperaturen auf. Bei niedrigen Temperaturen ist die Mobilität der Atome nicht so groß. Bei größeren Temperaturen können sich Spannungen im Material leichter abbauen. Für Zinn (Teil des Lotwerkstoffs) liegt der mittlere Temperaturbereich zwischen der Raumtemperatur und 80 $^{\circ}\text{C}$.

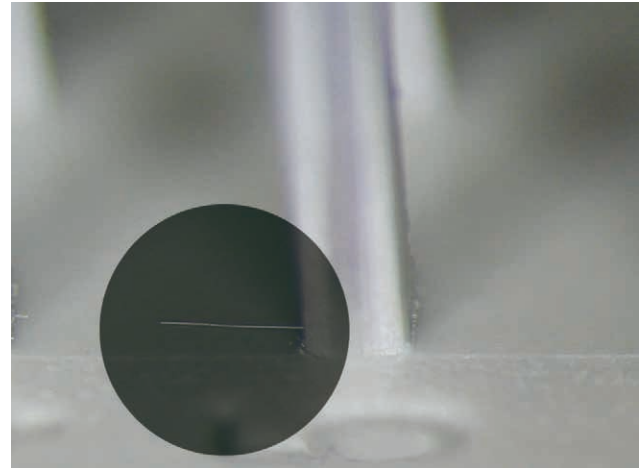
Whisker entstehen besonders leicht bei Baugruppen, die mit bleifreien Zinn-Loten verarbeitet wurden und können Kurzschlüsse auf galvanisch hergestellten Leiterbahnenbeschichtungen oder zwischen Bauelementen verursachen.

Weiterhin kann die Whiskerbildung dadurch minimiert werden, indem die an den Leiterplatten und Baugruppen anliegenden mechanischen Spannungen minimiert werden.

Dies umfasst auch mechanische Kräfte an Klemm- und Schraubverbindungen bei Baugruppen.

Ein Überzug der Leiterplatte mit einem Schutzlack (Conformal Coating), der vor Feuchtigkeit und Schmutz schützen soll, kann das Wachstum von Whiskern verlangsamen, nicht aber verhindern.

In der Regel ist die Zinn-Whiskerbildung kein Langzeiteffekt, da das Wachstum der Kristalle ‚spontan‘ erfolgen kann. (Quelle-Zitat: Wikipedia)



Whisker auf einem Steckverbinderpin mit Zinnschicht

Bildquelle: Pancon

4.10 Zinnpest

Zinnpest ist eine temperaturabhängige Veränderung der Kristallstruktur von Zinn, wobei sich unterhalb von 13,2 $^{\circ}\text{C}$ silberweißes, metallisches Zinn (sogenanntes β -Zinn) in grauschwarzes Zinn (sogenanntes α -Zinn) umwandelt. Die typischen Eigenschaften des metallischen β -Zinns sowie dessen Materialintegrität gehen dabei verloren. Oberhalb von 16 $^{\circ}\text{C}$ bis 181 $^{\circ}\text{C}$ liegt dagegen das β -Zinn stabil vor. Auffällig ist in diesem Zusammenhang, dass einerseits die Tendenz zum Umwandlungsprozess bei abnehmender Temperatur bis zur ‚idealen Umwandlungstemperatur‘ bei -48 $^{\circ}\text{C}$ zunimmt, jedoch die Reaktionsgeschwindigkeit der Umwandlung abnimmt. Die Umwandlung geht dabei von einigen Zentren aus und breitet sich allmählich aus. Indikatoren hierzu sind mehr oder weniger große Flecken, gefolgt von druckempfindlichen, oberflächlich auftretenden warzenartigen Bläschen.

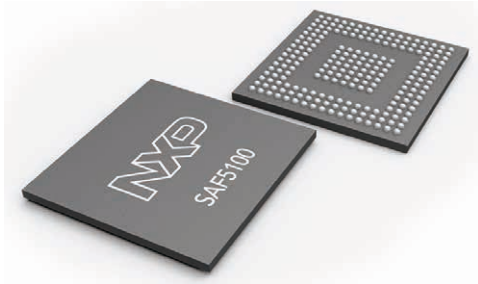
Neben der Temperaturabhängigkeit zur Umwandlung beschleunigen zudem Legierungsbestandteile wie etwa Zink oder Aluminium diese Neigung, wohingegen durch Antimon oder Wismut dieses Phänomen gemindert oder gar vermieden werden kann. (Quelle: Wikipedia)

5. Spezifische Einflussfaktoren

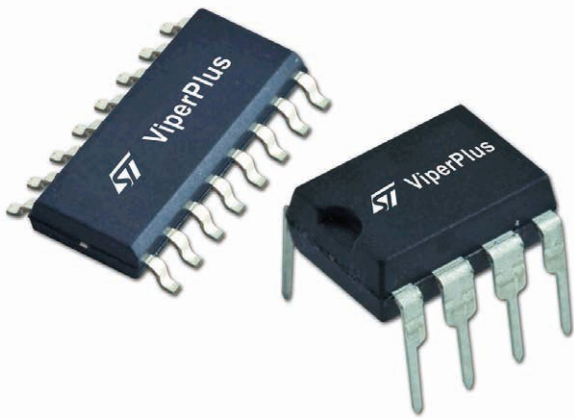
5.1 Besonderheiten aktive Bauelemente

Vorbemerkung und spezifische Information

Bei den aktiven Komponente gibt es Einflussfaktoren, welche die Funktion und Verarbeitung beeinträchtigen können.



Bildquelle: NXP Semiconductors Germany



Bildquelle: STMicroelectronics Application

Einflussfaktoren auf die Funktion

Folgende bekannte Stör- und Einflussfaktoren können die Bauteile schädigen und zu Ausfällen führen:

- Elektrostatische Entladung (ESD = Electrostatic Discharge)
- Verlust von Informationen durch Ladungsabbau in nichtflüchtigen Speichern (z. B. bei wiederprogrammierbaren Komponenten)
- Feuchtigkeit kann die Komponente beschädigen (z. B. durch Popcorn-Effekt, Korrosion)

Einflussfaktoren auf die Verarbeitung

Bei aktiven Bauelementen muss sichergestellt sein, dass aufgrund der Lagertemperaturen keine signifikanten Diffusionsprozesse (z. B. intermetallische Schichten) am Bauteil beschleunigt stattfinden.

Mechanische Einflüsse

Beschädigungen wären zum Beispiel:

- Verformung und Verbiegen der Anschlüsse
 - Koplanarität
- Lotkugelverlust durch unsachgemäßes Handling

Feuchtigkeit

Feuchtigkeit kann zu einer nachlassenden Benetzungsfähigkeit der Oberflächenschichten führen. Desweiteren kann durch eindringende Feuchtigkeit der Popcorn-Effekt initiiert bzw. die Komponente durch interne Delamination beschädigt werden. Daher ist eine Einteilung nach Feuchtigkeitssensibilitätsklassen (MSL = Moisture Sensitivity Level) gemäß JEDEC J-STD-020 [2] unabdingbar. Auch bei der Verwendung von Feuchtigkeitsschutzbeuteln müssen Trockenmittel in ausreichender Menge sowie ein Feuchteindikator vorhanden sein. Hat der Feuchteindikator angeschlagen, kann ein Vortrocknen (Ausbacken) vor der Montage notwendig werden.

Korrosion

Kunststoffgehäuse alleine bieten keinen ausreichenden Schutz vor Eindringen von Luftfeuchtigkeit oder Schadgasen ins Gehäuseinnere und der Anschlusspins. Schadgase können unter anderem auch aus ungeeigneten Verpackungen ausgasen. Damit sind diese Komponenten bei einer Lagerung vor externer und interner Korrosion und Feuchte zu schützen.

Verpackung, Transport und Lagerung

Die Verpackung ist so zu wählen, dass ein eventuell notwendiges Handling während der Langzeitlagerung so einfach wie möglich realisiert werden kann. Ein Trocknen von kunststoffverpackten Bauelementen ist aufgrund der benötigten Temperaturen meist nicht möglich (Verformung der Verpackungsmaterialien). In vielen Fällen empfiehlt sich eine Langzeitlagerung in ausheizbaren Materialien wie z. B. Trays (abzustimmen zwischen Herstellern und Anwendern).

Die Verpackung muss über die gesamte Lagerungszeit den Feuchtigkeitsschutz gewährleisten.

Fazit und Empfehlungen

Alterungs- und Ausfallmechanismen gefährden durch Korrosion/Oxidation während der Lagerung der Komponente hauptsächlich die Erhaltung der Lötbarkeit.

Die Verpackung muss über die gesamte Lagerungszeit den Schutz vor Feuchtigkeit (Atmosphäre), Kontamination (Schadgase) und Strahlung (UV) gewährleisten.

5.2 Besonderheiten passive Bauelemente

Vorbemerkung und spezifische Information

Für passive Komponenten wie z. B. Widerstände oder Induktivitäten, gelten die vorgenannten allgemeinen und spezifischen Einflussfaktoren in gleicher Weise, da diese im Wesentlichen durch die Gehäuse- und Anschlusstechnologie bestimmt werden und nicht durch interne Alterungsmechanismen. Eine Sonderstellung nehmen die Kondensatoren ein.

Da passive Komponenten aus den vielfältigsten Materialien bestehen und verschiedenste Funktionen erfüllen, empfiehlt es sich vor einer Langzeitlagerung mit den jeweiligen Herstellern abzuklären, ob es technologie- oder funktionspezifische Einflussfaktoren gibt.

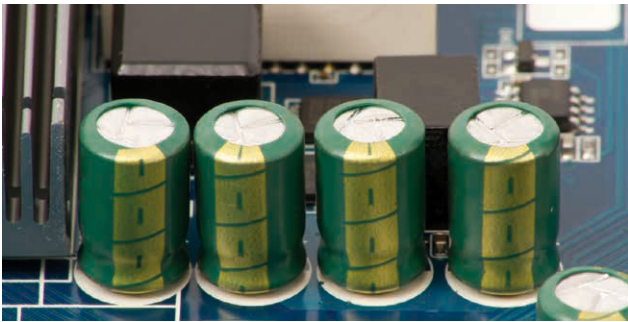


Bildquelle: Epcos



Bildquelle: Murata Elektronik

Einflussfaktoren auf die Funktion



Bildquelle: SG-design – Fotolia

Alu-Elkos

Zwei unterschiedliche Effekte können die Sperrfähigkeit des Kondensators nachteilig beeinflussen:

- **Oxid-Degeneration:**

Je nach Elektrolytklasse und Temperatur können ionische Bestandteile der Elektrolyten in das Dielektrikum beziehungsweise Oxid diffundieren und die Oxid-Kristallstruktur verändern. Es entstehen elektrische Fehlstellen und ionische Ladungsträger im Oxid.

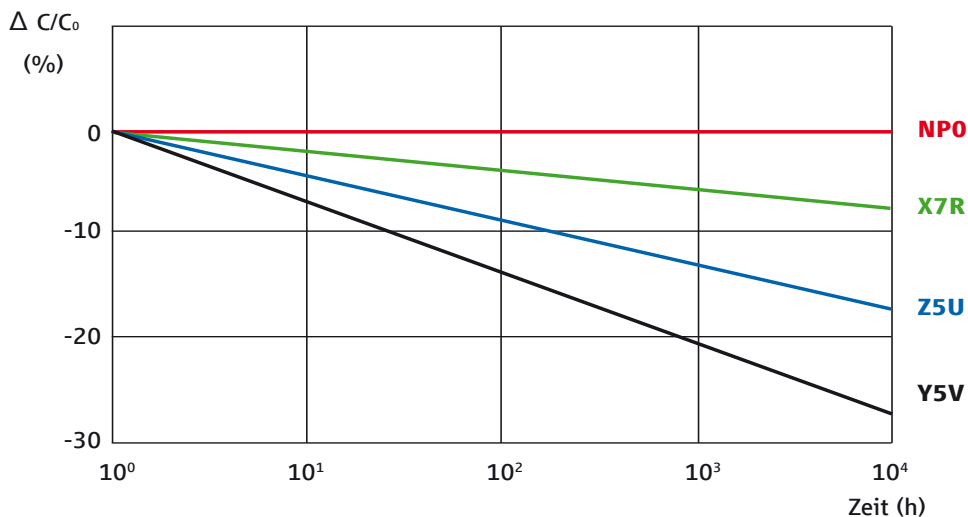
- **Nachimprägniereffekt:**

Das Oxid kann in der Komponente nur dort elektrochemisch ausformiert werden, wo es auch mit Elektrolyt bedeckt und darüber mit der Kathodenfolie elektrisch verbunden ist. An diesen Stellen kann der nötige Formierstrom fließen. Dies ist in einem neuen Kondensator bei mehr als 99,9 Prozent der zu formierenden Oxid-Fläche der Fall.

Wird nach längerer Zeit Spannung angelegt, kann dies zunächst einen erhöhten Regenerations-Reststrom bewirken. Kurz nach Anlegen einer Gleichspannung ist der Reststrom relativ hoch und klingt nach einigen Stunden auf einen geringen Betriebsreststrom ab.

Keramikkondensatoren

Keramikkondensatoren mit NPO Dielektrika weisen eine nur sehr geringe vernachlässigbare Abnahme der Kapazität auf. Ferroelektrische Materialien wie z. B. X7R, Z5U und Y5V zeigen eine reversible Kapazitätsabnahme. Durch einen Temperaturprozess von über 120 °C (z. B. Reflowlöten) kann die ursprüngliche Kapazität wieder hergestellt werden. Werden die Kondensatoren diesem Temperatur-Verarbeitungsprozess nicht unterworfen, sind die Veränderungen der Kapazität mit einzudesignen.



Typische Alterung von Keramikkondensatoren über die Betriebs- und Lagerzeit

(Quelle Wikipedia: Elcap).

Kunststoff-Folienkondensatoren

Kunststoff-Folienkondensatoren unterliegen Alterungsvorgängen. Nicht reversible Veränderungen der Kapazität werden durch hohe Temperaturen verursacht, wie sie z. B. beim Löten oder hoher Strombelastung auftreten. Diese Kapazitätsänderungen beruhen auf einem geringen Nachschumpfen der Kunststoffolie. Bei SMD-Bauformen kann die Änderung des Kapazitätswertes durch Reflowlöten bis zu zehn Prozent, bei bedrahteten wellengelöteten Folienkondensatoren ein bis fünf Prozent betragen.

Reversible Veränderungen von Verlustfaktor und Isolationswiderstand entstehen durch die Aufnahme oder Abgabe von Feuchte.

Tantalkondensatoren mit festem Elektrolyt

Bei Tantal ist kein Lebensdauerende bekannt. Es ist auch keine über die Jahrzehnte ansteigende Fehlerrate zu erwarten. Bei richtigem Einsatz (keine Überspannung, keine ‚gelegentlichen‘ Stromspitzen) beträgt die Lebensdauer > 40 Jahre.

Tantal-Elektrolytkondensatoren haben keine durch Austrocknungsvorgänge begrenzte Lebensdauer.

Einflussfaktoren auf die Verarbeitung

Für die passiven Komponenten gelten die bereits im Kapitel der aktiven Komponenten beschriebenen allgemeinen Einflussfaktoren.

Beim Aluminium-Elektrolyt-Kondensator müssen nach Montage auf der Leiterplatte in dem nachfolgenden Prüfprogramm die erhöhten Restströme berücksichtigt werden, dem Elko muss Zeit zum Regenerieren gegeben werden. Können diese Effekte in dem Prüfprogramm nicht aufgefangen werden, muss der Elko vor der Montage vorformiert werden.

Bei Kunststoff-Folienkondensatoren kann es durch den Lötprozess bei hoher Feuchteaufnahme zu einer lokalen Delamination in den Grenzflächen oder Materialien kommen. Aus diesem Grund muss eine Feuchteaufnahme während der Lagerung vermieden werden.

Verpackung, Transport und Lagerung

Die Komponenten sind für den Transport und die Lagerung so zu verpacken, dass sie vor Feuchtigkeit, schädlicher Atmosphäre, Verunreinigung (Kontamination) und Wärmeeinwirkung geschützt sind.

Fazit und Empfehlung

Passive Komponenten lassen sich unter Beachtung der genannten Einflussfaktoren und Alterungsmechanismen lagern.

Eine Ausnahme stellen Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren dar. Ohne zusätzliche Maßnahmen (Prüfung der Leckströme und Nachformierung) oder zusätzliche Herstellerinformationen wird eine Lagerung von mehr als drei Jahren nicht empfohlen.

5.3 Besonderheiten Batterien (und Akkumulatoren)



Bildquelle: Varta Microbattery

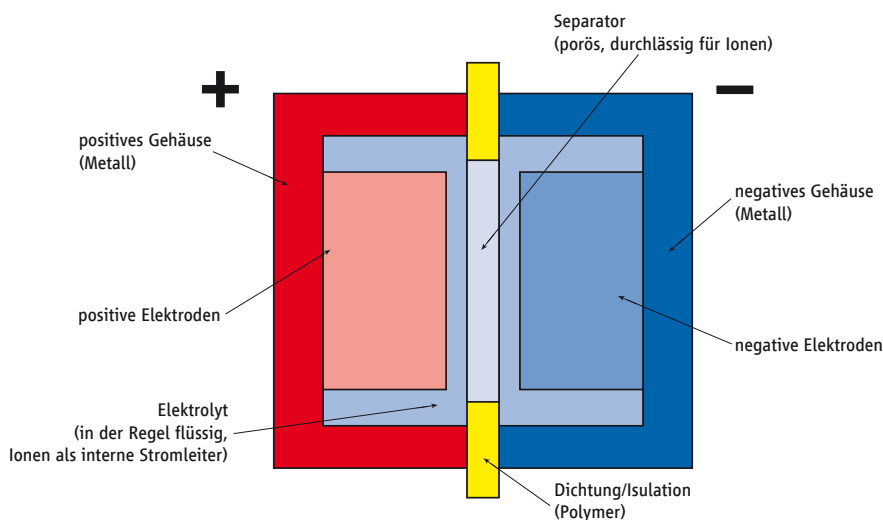


Bildquelle: Varta Microbattery

Vorbemerkung und spezifische Information

Batterien und Akkumulatoren zeichnen sich im Gegensatz zu anderen Komponenten dadurch aus, dass sie einen elektrochemischen Reaktionsmechanismus, d.h. eine ‚Alterung‘ beinhalten. Wird der Stromkreis in der Anwendung geschlossen, fließen durch den Separator Ionen, solange bis die Spannung zusammengebrochen ist.

Abhängig vom Batteriesystem und Aufbau kann ein minimaler Stromfluss bei Lagerung nicht verhindert werden. D.h. Batterien eignen sich nicht für eine Langzeitlagerung ohne sehr große Einschränkungen in der Funktionalität (Energiebereitstellung).



Prinzipieller Aufbau einer Batterie

Quelle: Varta Microbattery

Technisch sind folgende elektrochemische Systeme von Bedeutung:

- Wieder aufladbar, Elektrolyt wässrig:
 - Pb/PbO₂ (H₂SO₄)
 - NiMH (KOH)
- Wieder aufladbar, Elektrolyt organisch:
 - Li-Ion (auch Li-Polymer)
- Primär, Elektrolyt wässrig:
 - Alkali/Mangan (Zn/MnO₂)
 - Zink/Silberoxid
 - Zink/Luft
- Primär, Elektrolyt organisch oder wasserfrei:
 - Lithium primär (Li/MnO₂, Li/SOCl₂ u.a.)

Einflussfaktoren auf die Funktion

Drei unterschiedliche Mechanismen beschränken die Lagerfähigkeit:

- Zellinterne chemische oder physikalische Änderungen
- Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Licht)
- Wechselwirkung mit Applikation (Gerät oder Komponente), wenn angeschlossen

1) Zellinterne chemische oder physikalische Änderungen

Verschiedene zellinterne chemische oder physikalische Veränderungen können die nutzbare Kapazität reduzieren:

- Änderungen der Kristallstruktur von Elektrodenmaterialien
 - Bildung von größeren, weniger aktiven PbSO₄-Kristallen in Bleibatterien
 - Änderung der Kristallstruktur des Nickelhydroxids in NiMH-Batterien (Umwandlung von beta-Ni(OH)₂ in alpha-Ni(OH)₂)
- Feines Elektrodenmaterial kann bei Lagerung ausgeschwemmt werden, durch den Separator transportiert werden und die Gegenelektrode entladen.
- Spuren von Verunreinigungen können durch ‚Shuttle-Reaktionen‘ (Hin-und-her-pendeln zwischen den Elektroden Selbstentladungen hervorrufen (Beispiele: $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$, $\text{NH}_4^+ + 8 (\text{OH})^- \leftrightarrow \text{NO}_2^- + 6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{e}^-$)

- Elektrodenmaterialien können durch parasitäre Reaktionen ohne Nutzung der gespeicherten elektrischen Energie entladen werden (Beispiele: $\text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZnO} + \text{H}_2$, $4 \text{NiO}(\text{OH}) + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{O}_2$

Im Allgemeinen bedingen diese Effekte bei wieder aufladbaren Batterien eine Haltbarkeit von ein bis zwei Jahren (wässrige Systeme wie Bleibatterie oder NiMH-Batterie) bzw. bis ca. sechs Jahren (Li-Ionen-Systeme).

2) Umgebungsbedingungen

Insbesondere bei Li-Ionen Systemen kann es zu einer weiteren Reduzierung der Lagerfähigkeit durch externe Effekte kommen. Höhere Temperaturen bedingen eine exponentielle Erhöhung aller Reaktionsgeschwindigkeiten (Arrhenius).

Feuchtigkeit kann (insbesondere nach Versprödung durch Alterung) durch Dichtungsmaterialien diffundieren und in der Zelle Zersetzungsreaktionen auslösen (Beispiel: $2 \text{Li} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{LiOH} + \text{H}_2$). Durch Diffusion von Wasser aus der Zelle heraus kann diese austrocknen.

Externe Korrosion von metallischem Gehäusematerial kann zu anschließenden Kontaktierungsproblemen führen.

Außerdem können externe leitfähige Flüssigkeitsbrücken zu Selbstentladung führen, häufig verbunden mit Korrosion.

3) Wechselwirkungen

Wenn Batterien in Geräte eingebaut sind, führen Leckströme zu externer Entladung (1 μA Leckstrom entspricht 8,76 mAh Ladungsverlust pro Jahr). Dies ist insbesondere für ‚kleine Batterien‘ relevant da z. B. Knopfzellen Kapazitäten in der Größenordnung von 10 – 100 mAh besitzen.

Hervorgerufen durch eine interne Schutzelektronik können Li-Ionen-Batterien entladen werden, auch wenn diese nicht in Geräte eingebaut sind.

Einflussfaktoren auf die Verarbeitung

In der Regel sind die funktionalen Einschränkungen dominant. Eventuelle Kontaktierungsprobleme durch Korrosion von externen Anschlüssen treten hierbei in ihrer Bedeutung zurück (leer ist leer).

Verpackung, Transport und Lagerung

Der Lagerbereich sollte sauber, kühl, trocken, belüftet, wetterbeständig und vor direktem Sonnenlicht geschützt sein. Für die Lagerung sollte die Temperatur zwischen +10 °C und +25 °C liegen und darf +30 °C nicht überschreiten. Werte der relativen Feuchte über 95 Prozent und unter 40 Prozent über längere Zeit – sowie Betauung – sind zu vermeiden.

Batterien dürfen in Geräten eingebaut oder in Verpackungen gelagert werden, sofern diese vom Batteriehersteller als geeignet zugelassen wurden.

Die oben genannten Empfehlungen sind ebenfalls für Lagerbedingungen bei länger andauerndem Transport gültig.

Fazit und Empfehlung

Die Entladung von Batterien muss beim Geräte-/Komponenten-Design berücksichtigt werden. Batterien sind für eine Langzeitlagerung nicht geeignet. Die Maßnahmen zur Verlängerung der Langzeitlagerung beruhen im Wesentlichen auf einer Reduktion des Ionentransportes in der Batterie. Dieser Transport kann jedoch nicht komplett unterbunden werden.

Die maximale Haltbarkeit von Primärbatterien kann folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Zink/Luft-Zellen: von zwei bis vier Jahre
- Alkali/Mangan-Rundzellen: sieben Jahre
- Lithium-Primärzellen: von acht bis 15 Jahre (in der Realität wenig länger als angegeben)
- Bei wiederaufladbaren Batterien in der Regel keine Angabe

Ersetzbare („user replaceable“) Standard-Batterien sollten nicht eingelagert werden. Sie können stattdessen neu beschafft und erst bei Bedarf eingesetzt, eingebaut oder abgeschlossen werden.

Bei Akkumulatoren verlängert regelmäßiges (alle zwölf Monate) Nachladen die Lagerfähigkeit.

Literatur zu Batterien:

IEC 60086-1 [13], IEC 60086-2 [14],
IEC 62133 [16].

5.4 Besonderheiten Leiterplatten, bestückte Baugruppen und Geräte

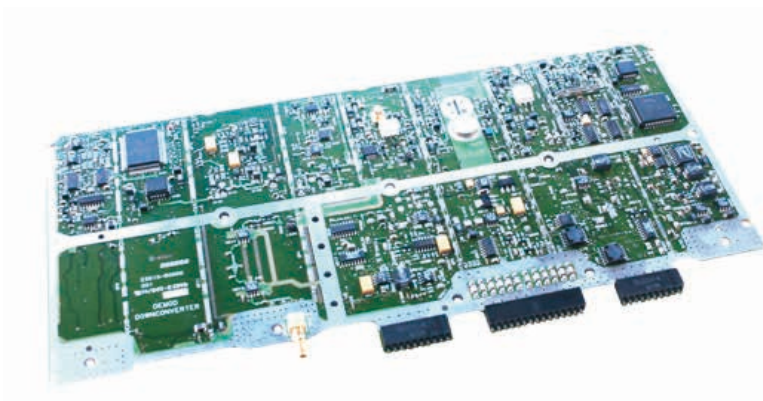
Vorbemerkung und spezifische Information

Während auf Komponentenebene die Auswahl adäquater Langzeitlagerungsbedingungen maßgeblich durch die individuelle Bauart der Komponente selbst bestimmt wird, gestaltet sich der Ablauf zur Langzeitlagerung auf Baugruppenebene (bestückte, teilbestückte Leiterplatte) grundlegend anders.

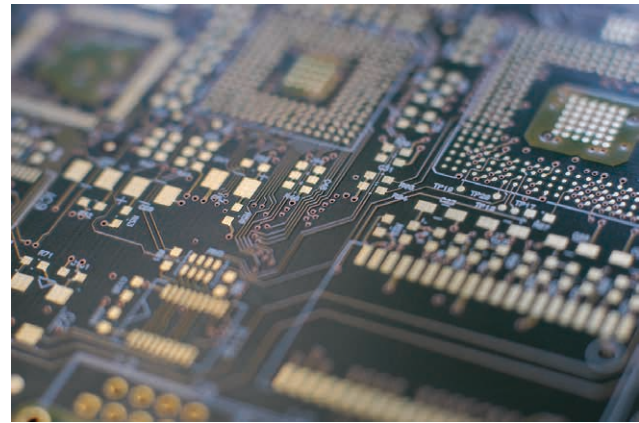
Ebenso gilt dies auch für die Leiterplatte (unbestückt) selbst, die wiederum als individuelles Zeichnungsteil zu sehen ist. Die Wiederbeschaffung dieser Leiterplatten lässt sich weitgehend aus der Verfügbarkeit der Basismaterialien ableiten und ist in der Regel gegeben.

Die Lagerfähigkeit von Leiterplatten ist entscheidend von der Endoberfläche abhängig und damit zur Langzeitlagerung über mehrere Jahre hinweg nicht geeignet.

Für die Baugruppe ist die Identifikation der Komponente, welche am ehesten Alterungseffekte zeigt, hinsichtlich Verarbeitbarkeit und Funktion von essentieller Bedeutung.



Bildquelle: Zollner Elektronik



Bildquelle: Polytron Print

Einflussfaktoren auf die Funktion

Die Funktionalität ist zunächst allein durch die Grenzen der Lagerfähigkeit der jeweiligen Komponenten selbst limitiert. Auf Grund bereits erfolgter Verarbeitungsprozesse kann durch Wechselwirkungen die individuelle Lagerfähigkeit von Komponenten reduziert sein. So erfordern z. B. typische Aushärtebedingungen für Silberleitklebstoffe oder Wärmeleitsysteme thermische Prozesse, welche wiederum ähnliche Alterungseffekte hervorrufen, wie Lötprozesse. Der Alterungsmechanismus von ausgehärteten Klebstoffen und Vergussmassen gleicht dabei im Wesentlichen der Alterung von Kunststoffen. Neben einer Tendenz zur Versprödung von bereits verarbeiteten Klebstoffen und Vergussmassen, stellt sich vor allem eine verminderte Grenzflächenhaftung ein.

Einflussfaktoren auf die Verarbeitung

Die Bevorratung von Baugruppen mit kompletter Bestückung ist anzustreben, d.h. die Aufbau- und Verbindungstechnik inklusive aller Fertigungsprozesse sollen abgeschlossen sein. Für Baugruppen mit Klimaschutzüberzügen, wie z. B. Lacke, sollten unbedingt die Herstellerempfehlungen vor und zur Lagerung beachtet werden.

Kann nur teilbestückt werden, muss nach jedem vorrangig Wärme einbringenden Prozessschritt die Eignung zur Weiterverarbeitung und Lagerfähigkeit neu bestimmt werden. So empfiehlt sich z. B. für teilbestückte Baugruppen vor einem finalen Lötprozess die Lotareale vorzubeloten.

Verpackung, Transport und Lagerung

Auf Baugruppenebene gilt es, allen Bauelementbedürfnissen weitgehend gerecht zu werden. Im Wesentlichen bedeutet dies, dass ein größtmöglicher Verträglichkeitskorridor in punkto Feuchtigkeit, Lagertemperatur, ESD-Schutz, etc. geschaffen werden muss.

Auf eine geeignete langzeittaugliche und emissionsarme Verpackung ist dabei besonderes Augenmerk zu richten, da es für Baugruppen keine universaltauglichen Verpackungsmaterialien gibt.

Fazit und Empfehlungen

Eine pauschale Empfehlung hinsichtlich Langzeitlagerung kann für Baugruppen nicht definiert werden, da der jeweils alterungssensibelste Ort und Mechanismus sehr individuell die Lagerung begrenzt.

Jegliche Langzeitlagerung auf Baugruppenebene reduziert dabei die zu erreichende Restlebensdauer hinsichtlich Weiterverarbeitbarkeit und Funktionalität des noch fertig zu montierenden Produktes.

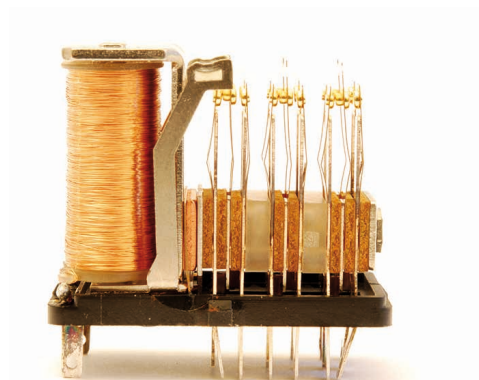
5.5 Besonderheiten elektromechanischer Bauelemente sowie von Kunststoffgehäusen und Konstruktionselementen

Vorbemerkung und spezifische Information

Elektromechanische Komponenten wie z. B. Steckverbinder, Schalter, Relais oder Sicherungen sind in der Regel Trenn- bzw. Verbindungsstellen von elektrischen Leitern. Einige Komponenten behalten über lange Lagerung eine nahezu gleichbleibende Verarbeitbarkeit und Funktionalität, andere wiederum sind nach der vom Hersteller angegebenen Frist kaum mehr verwendbar. Daher sind die Komponenten differenziert zu betrachten. Schon bei der Produktentwicklung sind Herstellerempfehlungen einzuholen und daraus eine Lagerstrategie zu entwickeln. So ist z. B. ein Industriesteckverbinder für große Lasten differenziert zu einem Foliensteckverbinder zu bewerten.



Bildquelle: TE Connectivity



Bildquelle: Jean-Marc Richard – Fotolia



Bildquelle: Marquardt

Einflussfaktoren auf die Funktion

Gehäuse und Konstruktionsteile sind integraler Bestandteil elektromechanischer Komponenten. Durch Alterungseffekte können Verarbeitbarkeit und Funktion stark beeinträchtigt werden. Durch Versprödung und Schrumpfung der Kunststoffteile können sich Maßveränderungen ergeben und damit ist z. B. ein einwandfreier Formschluss bei Steckverbindern nicht mehr möglich. Großen Einfluss hat auch das Kleinklima im Inneren der elektromechanischen Komponente z. B. auf Korrosion. Gegenmaßnahmen bestehen in der Auswahl von höherwertigen Gehäusematerialien oder alternativen Konstruktionen. Dazu gehören insbesondere Keramiken, Metalle, Glas und ausgasungsfreie Kunststoffe, die in Verbindung mit Schutzgasfüllungen oder evakuierten Konstruktionen die Funktionselemente über lange Zeit schützen.

Für die Betrachtung der Langzeitlagerfähigkeit der Funktionselemente von elektromechanischen Komponenten, wie z. B. Schalt- und Steckkontakten, ist die elektrische Last in der Anwendung von Bedeutung. Hohe Spannungen und Ströme zerstören eventuell entstandene Fremdschichten. Ebenso wirken hohe Kontaktkräfte bei schaltenden Kontakten oder hohe Reibkräfte bei Steckverbindern reinigend.

Bei geringen elektrischen Lasten sind jedoch geeignete Schutzmaßnahmen, wie hochwertige Oberflächen oder Passivierung, vorzusehen. Auch die Formgebung der Kontakte kann die Lagerfähigkeit positiv beeinflussen.

Einflussfaktoren auf die Verarbeitung

Lösbare Kontakte wie z. B. Schraubanschlüsse, Federzugklemmen oder Steckzungen sind für lange Lagerungen gut geeignet. Es kann aber sein, dass die verwendeten Materialien und Beschichtungen für eine hohe Beständigkeit gegen zerstörende Umwelteinflüsse ausgewählt werden müssen. Eventuell sind Vorbehandlungen der Kontaktstellen mit Schutzmitteln notwendig.

Nicht lösbare Verbindungen wie Crimp-, Niet-, Schneidklemm- oder Einpresstechnik erlangen Ihre Verbindungsgüte durch Kraft- und Formschluss. Mangelnde Schichtstärken oder fehlende Sperrschichten der Kontaktzonen führen bei langer Lagerung zur Diffusion des Grundmaterials in die Kontaktschicht. Dann ist eine gasdichte Verbindung nicht mehr gewährleistet.

Bei Fügeverfahren wie Löt- und Schweißverbindungen oder bei Kleb- und Bondverbindungen ist die Oberflächengüte von herausragender Bedeutung. Vor der Verarbeitung ist die Anschlussstelle zu untersuchen und geeignete Oberflächenaktivierungen bzw. Reinigungen sind vorzunehmen, gerade dann, wenn die Anschlussstellen vor der Langzeitlagerung mit Schutzmitteln oder anderen Verfahren geschützt wurden.

Verpackung, Transport und Lagerung

Gerade im Hinblick auf die Funktion der elektromechanischen Komponenten hat die Wahl der Verpackung einen großen Einfluss. Ausgasende Kunststoffverpackungen, mangelnder UV-Schutz oder zu hohe Restfeuchte in der Verpackung können zur Kontaktschädigung führen. Hingegen tragen zu trockene Kleinklimata in der Verpackung zur Versprödung und Schrumpfung von Gehäusen und Funktionsteilen bei.

Alternative Verpackungen z. B. aus Metall oder Glas und routinemäßige Zwischeninspektionen sind in die Lagerstrategie einzubeziehen.

Die Lagerbedingungen von elektromechanischen Komponenten sind mit denen anderer Bauelemente vergleichbar.

Fazit und Empfehlungen

Die Vermeidung einer möglichen Fehlfunktion von elektromechanischen Komponenten durch Langzeitlagerung stellt eine besondere Herausforderung dar. Die Komplexität der Einflussgrößen, Fehlerbilder, deren Auswirkungen und Lösungsmöglichkeiten sind hier nur bedingt darstellbar.

6. Empfohlener genereller Ablauf für die Einlagerung von Komponenten

Das nachfolgend dargestellte Ablaufdiagramm beschreibt in generischer Form alle Tätigkeiten, die zur Langzeitlagerung nötig sind. Unternehmensspezifika können in den einzelnen Unternehmen berücksichtigt und eingearbeitet werden.

In dieser Broschüre beschränken wir uns auf die Lagerung und die Vorbereitung der Verarbeitung der betrachteten Komponenten. Deren Eignung zur Lagerung inklusive der Verpackung ist im Vorfeld mit dem Hersteller abzustimmen.

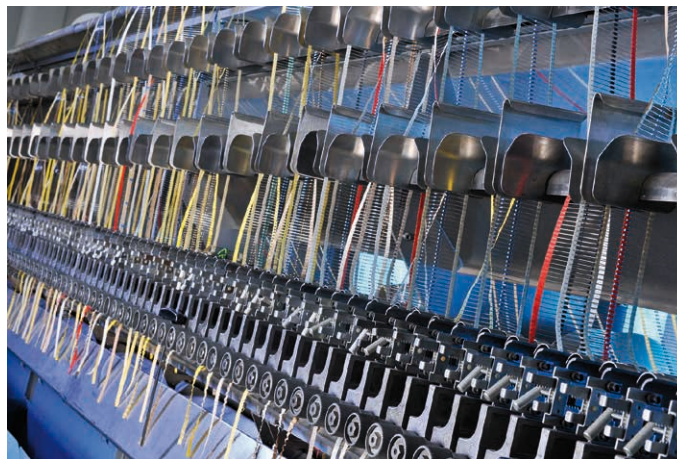
Bereits angearbeitete Lose, wie z. B. teil- und fertigbestückte Komponenten, sind gesondert zu betrachten, da unterschiedliche Bearbeitungszustände bei unterbrochenen Prozessfolgen wiederum ihre eigenen Fehlermöglichkeiten eröffnen können. In diesem Fall sind die kritischen Teilkomponenten fallspezifisch zu beurteilen, um die Eignung für eine Langzeitlagerung zu bestimmen.

6.1. Checkliste zu allgemeinen Punkten

Die Antworten zu folgenden Fragen sind die Voraussetzung für die weitere Planung der Einlagerung von Komponenten:

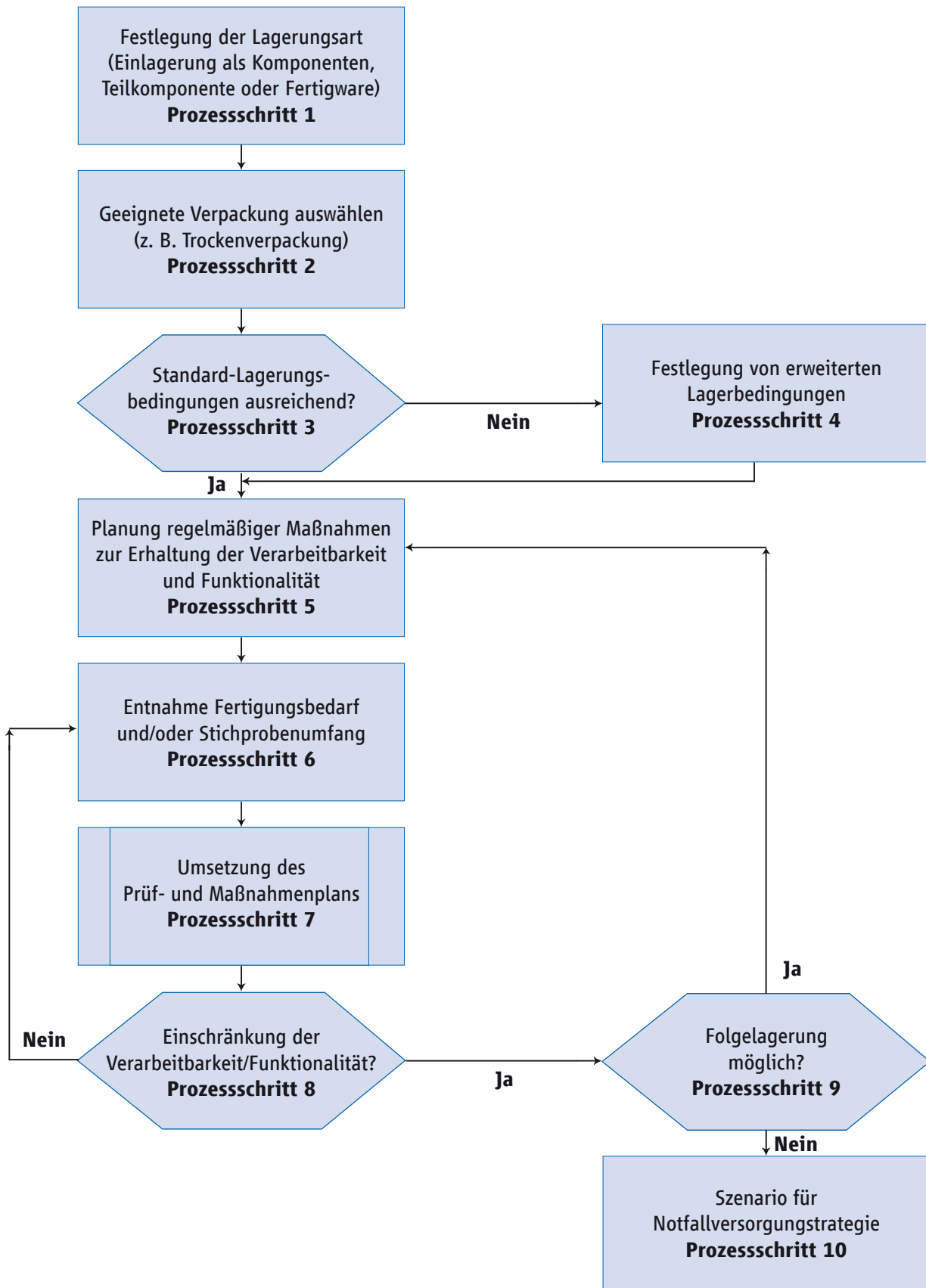
- Handelt es sich um Originalware?
- Ist die Lagerhistorie bekannt?
- Sind die Transportbedingungen und Lieferketten bekannt?
- Entspricht der Verpackungsanlieferungszustand der Herstellerempfehlung?
- Gibt es eine unabwendbare, bekannte Lagerfähigkeitsbegrenzung aufgrund von Alterungsmechanismen?

Können diese Fragen nicht eindeutig zufriedenstellend beantwortet werden, ist es sinnvoll, die Komponenten in der vom Hersteller empfohlenen Verpackung neu zu bestellen. Die Anlieferung in geeigneter Verpackung ist der Startpunkt des empfohlenen generellen Ablaufs.



Bildquelle: cms electronics

6.2. Ablaufdiagramm zur Langzeitlagerung



6.3. Erläuterung der einzelnen Prozessschritte

Prozessschritt 1: Festlegung der Lagerungsart (Einlagerung als Komponente, Teilkomponente oder Fertigware)

Sollen Komponenten langfristig gelagert werden, ist es nötig zu überprüfen, in welcher Form diese über den gesamten zeitlichen Verlauf verfügbar sein können.

- Einlagerung als unveredelte Herstellerware (Bauteil)
- Einlagerung als (teilbestückte) Flachbaugruppe
- Einlagerung als Gerät, Modul oder System

Es muss abgewogen werden, ob die Einlagerung von Komponenten, Teilkomponenten oder Fertigwaren die besseren Möglichkeiten bieten, um lieferfähig zu bleiben. Insbesondere sind folgende Aspekte zu betrachten:

- Fehlermechanismen, Überprüf-, Testbar- und Verarbeitbarkeit
- Verfügbarkeit von Geräten, Software, Technologien, Materialien
- Lagerkosten, Aufbaukosten, Wiederbeschaffungskosten



Fertigung von Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren

Bildquelle: Epcos

Werden diese Aspekte zu spät bewertet, ist oft ein Großteil des vom Hersteller zugesicherten Lagerzeitraumes bereits verbraucht. Für die restliche, benötigte Lagerzeit muss nun noch entschieden werden, in welcher Form die Verfügbarkeit bestmöglich abgedeckt werden kann. Bestmöglich bedeutet hierbei, sich die technischen und wirtschaftlichen Folgen einer Langzeitlagerung bewusst zu machen. Bei der Entscheidung einer Langzeitlagerung durchzuführen, sind die nachfolgenden, unten aufgeführten Fragen (Checkliste) abzuklären.

Spätestens an dieser Stelle empfiehlt sich eine Risikobewertung des Lagerungsvorganges, z. B. mit Hilfe einer Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA), vorzunehmen. In dieser FMEA sollten Antworten und Abschätzungen zu Punkten der folgenden Checkliste gefunden werden.

Checkliste:

- Gibt es herstellerseitig definierte optimale Lagerungsbedingungen?
- Ist die Verpackungsart für Langzeitlagerung geeignet?
- Gibt es herstellerseitig empfohlene Lagerungsbedingungen zur Erlangung einer Zugewinn-Haltbarkeit?
- Kann eine wieder verschlossene (verschweißte) Originalverpackung eingelagert werden?
- Muss unter Zugabe oder Austausch von Trockenmittel und/oder Feuchteindikator eingelagert werden?

Prozessschritt 2: Geeignete Verpackung auswählen (z. B. Trockenverpackung)

Wenn es keine herstellerseitig empfohlene Lagerungsbedingung zur Erlangung eines Zugewinns der Haltbarkeit gibt, empfiehlt es sich, die original verpackte Ware zusätzlich in einem geeigneten MBB (MBB = Moisture Barrier Bag) für die Lagerung zu verpacken. Dabei ist darauf zu achten, dass Feuchtigkeitsindikatoren möglichst durch den Beutel erkennbar sind. Auch in diesem zusätzlichen Beutel müssen für den beabsichtigten Lagerzeitraum Feuchteschutzmittel und Feuchteindikatoren eingebracht werden.



Bauteil-Rollen mit Feuchtigkeitsschutzbeutel, Feuchteschutzmittel und Feuchteindikator

Bildquelle: s.e.t. electronics

Wenn keine spezifischen Lagerungsbedingungen angegeben werden, haben sich folgende Werte für Komponenten bewährt:

- Temperatur: möglichst konstanter Wert zwischen 15 °C - 40 °C
- Feuchte: 30 Prozent rH - 70 Prozent rH
- Schadstoffarme Atmosphäre und Verpackung (Schwefelverbindungen, Stickoxide, etc.)
- Lagerung unter stickstoff- oder sauerstoffhaltiger Atmosphäre ist zu prüfen
- Schutz vor (UV-) Licht
- Schutz vor Staub
- ESD-Schutz
- Schutz vor mechanischem Stress (z. B. Schock, Vibration)
- Losgröße für Verpackungseinheit = Produktionslos (soweit möglich)

Die empfohlenen Lagerumgebungsbedingungen für korrekt verpackte Komponenten sind üblicherweise weiterverarbeitungsspezifisch zu prüfen. Auch bei teilbestückten Komponenten muss für eine geeignete Verpackung gesorgt werden.

Prozessschritt 3: Standard-Lagerungsbedingungen ausreichend?

Aufgrund der Typen-, Gehäuse- und Verpackungsvielfalt ist bei jeder betrachteten Komponente eine individuelle Prüfung vorzunehmen.

Folgende Aspekte sollten geprüft werden:

- Einfluss der Lagerdauer auf Ausfallmechanismen (Korrosion, Lötbarkeit, etc.)
- Einfluss der Lagerdauer auf Gehäuse (Abmessungen, Versprödung, etc.)
- Veränderung der mechanischen oder optischen Eigenschaften unter Lichteinfluss (Versprödung, Verfärbung, etc.)
- Einfluss des Bearbeitungszustandes (z. B. teilbestückte Leiterplatte) auf Funktion und Verarbeitbarkeit

Prozessschritt 4: Festlegung von erweiterten Lagerungsbedingungen

Auf Basis der Entscheidungsfindung aus Prozessschritt 3 werden die erweiterten Lagerbedingungen definiert. Die dominanten Schädigungsmechanismen können direkt aus der FMEA (siehe Prozessschritt 1) abgelesen werden. Beispiele für Maßnahmen, um schädigende Einflüsse erst gar nicht zum Tragen kommen zu lassen, bestehen in einer Verringerung der Luftfeuchtigkeit, Verringerung des Sauerstoffanteils in der Lageratmosphäre, Lagerung in inerter Atmosphäre, wie z. B. Stickstoff.

Prozessschritt 5: Planung regelmäßiger Maßnahmen zur Erhaltung der Verarbeitbarkeit und Funktionalität

Der Zustand der eingelagerten Waren sollte in regelmäßigen Abständen überprüft werden, damit die eventuellen negativen Auswirkungen einer Langzeitlagerung rechtzeitig erkannt und geeignete Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können.

Wenn eine regelmäßige Fertigung aus den Beständen der eingelagerten Ware geplant ist, kann eine Stichprobenprüfung parallel zur laufenden Produktion erfolgen.

Falls ein parallel zur Fertigung durchgeführtes Monitoring nicht ausreicht, können in einem Testplan zusätzliche Maßnahmen definiert werden, um Veränderungen der Verarbeitbarkeit oder Funktionalität rechtzeitig zu erkennen.

Für den Warenverbrauch solcher Prüfungen sollte der zusätzliche Bedarf von Komponenten eingeplant werden.

Gebinde können für die Stichprobenprüfungen vorab zusammengestellt werden, um ein mehrfaches, unnötiges Öffnen der Originalverpackungen zu vermeiden.

Des Weiteren muss definiert werden, wie und wie oft die Umverpackung geprüft bzw. erneuert wird. Hilfestellung kann hier der Verpackungsmittelhersteller geben.

Der Prüfplan (Stichprobenprüfung) sollte folgende Positionen enthalten:

- Definition der Prüfmenge, der Testintervalle und die Art der Tests (Benetzungstest, dip and look, etc.)
- Definition der Bewertungsparameter

Bei einigen wenigen Komponenten können zur Verlängerung der Lagerzeit weitere Maßnahmen hilfreich sein. Dazu zählt:

- Bestromung/Reformatierung
- Refreshing
- Reprogrammierung

Dieses betrifft die Gesamtmenge der eingelagerten Ware.



Bildquelle: industrieblick – Fotolia

Prozessschritt 6:

Entnahme Fertigungsbedarf und/oder Stichprobenumfang

Die Entnahme der benötigten Stückzahlen für eine Fertigung, fertigungsbegleitende Prüfung und/oder der notwendigen Zwischenprüfung (siehe Planung in Prozessschritt 5), sollte folgenden Inhalten gerecht werden:

- Abgleich der Ist-Stückzahlen mit den in der Lagerstatistik aufgeführten Soll-Zahlen
- Optische Bewertung der Verpackung (Schäden, Auffälligkeiten, Feuchteindikator, etc.)
- Überprüfung der festgelegten Umgebungsbedingungen (Temperaturen, Feuchtigkeit, etc.)
- Einhaltung der definierten Entnahmeprozesse (Auswahl der Gebinde, Öffnungsreihenfolge der Verpackung und Umverpackung inkl. Umgebungsbedingungen)
- Einhaltung sonstiger Sicherheitsvorkehrungen (ESD-Schutz, Benutzung von Schleusen, etc.)

Prozessschritt 7:

Umsetzung des Prüf- und Maßnahmenplans

Bei jeder Entnahme von Waren aus dem Lager für Fertigungs- und/oder Prüfzwecke sind die jeweiligen warenspezifischen Vorschriften zu beachten. Optische Auffälligkeiten wie zerdrückte, verworfene oder feuchte Umverpackungen ziehen sofort eine Untersuchung der verpackten Komponenten nach sich. Auch muss bei einer Reaktion des Feuchteindikators gehandelt werden. Dies ist notwendig, um so frühzeitig wie möglich eine Anpassung der (z. B. unter Prozessschritt 4 erfolgten) Einlagerungsstrategie anzustoßen.

Sind die Verpackungseinheiten größer als für eine Zwischenprüfung benötigt, ist die restliche Ware entsprechend der vorher definierten Bedingungen einzulagern.

Durchführung der im Testplan definierten Prüfungen, um die Qualität der eingelagerten Ware zu überwachen:

- Optische Eigenschaften
- Verarbeitbarkeit
- Elektrische Eigenschaften
- Mechanische Eigenschaften

Durchführung der nach Prozessschritt 5 definierten Maßnahmen an der Gesamtmenge der eingelagerten Komponenten.

Parallel liefern Beobachtungen aus der Produktion Rückschlüsse auf den Zustand der eingelagerten Ware, z. B.:

- Störungen in der Aufbau- und Verbindungstechnik
- Benetzungsprobleme
- Bondprobleme
- Adhäsionsprobleme
- Störungen durch Korrosion bei lötfreier Verbindungstechnik

Die bei der Durchführung der Prüfungen und Maßnahmen gewonnenen Informationen sind entsprechend zu bewerten und zu dokumentieren.

Prozessschritt 8: Entscheidung über Einschränkung der Verarbeitbarkeit/Funktionalität

Wenn die Prüfergebnisse keine unzulässigen Abweichungen oder Auffälligkeiten zeigen, kann weiter gelagert werden (Prozessschritt 6). Werden bei der Stichprobenprüfung oder der Produktion Fehler gefunden, sind diese zu analysieren und Maßnahmen zu ergreifen (Prozessschritt 9).

Prozessschritt 9: Folgelagerung möglich?

Falls Fehler und Auffälligkeiten entdeckt wurden, muss entschieden werden, ob eine weitere Einlagerung grundsätzlich möglich ist.

Hierzu können Änderungen der Einlagerungskonditionen und/oder der Prüfkonditionen notwendig werden:

- Veränderung der Verpackung
- Veränderung der Lagerbedingungen
- Verkürzung der Prüfintervalle
- Verschärfung der Prüfinhalte

Es kann weiter eingelagert werden, falls durch eine genehmigte Anpassung der Produktionsprozesse wie z. B. höher aktivierte Flussmittel, Refresh oder Reballing, die Weiterverarbeitung sichergestellt ist.

Ist abzusehen, dass die durchgeführten oder angedachten Maßnahmen nicht ausreichend wirksam sind, ist die Einlagerung zu beenden.

Prozessschritt 10: Szenario für Notfallversorgungstrategie

Ist eine Lagerung durch zulässige Maßnahmen nicht mehr möglich, ist die Versorgungsstrategie zu überarbeiten. Aufgrund der Vielfalt der Komponenten und der damit verbundenen Anzahl an möglichen Funktionsstörungen und Problemen, muss eine individuelle Lösung mit einer individuellen Risikobetrachtung (z. B. FMEA) erarbeitet werden.

Beispiele für Notfallmaßnahmen können sein:

- Aufbau und Weiterverarbeitung vorhandener Restmengen zur Einlagerung in einer nächsthöheren Wertschöpfungsstufe
- Aufbau mit Zusatzrisiken zur Einlagerung in einer nächsthöheren Wertschöpfungsstufe (z. B. Löten mit höher aktiviertem Flussmittel)
- Verwendung alternativer Bauteile bis hin zum Redesign
- ...

7. Aspekte zur Minimierung von Risiken bei Langzeitlagerung

Neben den beschriebenen Abläufen zur Langzeitlagerung können nachfolgende Hinweise zur Erhöhung der Versorgungssicherheit beitragen:

Designregeln:

- Keine abgekündigten Komponenten einsetzen
- Austauschbarkeit durch Standardisierung und Modularisierung schaffen
- Komponenten mit second source sind zu bevorzugen
- Exotische Komponenten sind zu vermeiden
- Falls möglich, Komponenten verwenden, die eine längere Lagerfähigkeit besitzen
- Rückwärtskompatibilität

8. Fazit und Ausblick

Der Trend der letzten Jahre zeigt eine Verkürzung der Innovationszyklen sowohl von Komponenten als auch Produkten. Dem gegenüber stehen Forderungen nach immer längeren Lebensdauern und der damit verbundenen längeren Verfügbarkeit von Ersatzteilen. Aufgrund dieser gegenläufigen Aspekte ist der Produzent von elektronischen Geräten gezwungen, eine Langzeitversorgung sicher zu stellen. Eine mögliche Strategie stellt dabei die Langzeitlagerung von elektronischen Komponenten dar.

Eine pauschale Aussage zu Lagerzeiten und -bedingungen kann aufgrund der Vielfalt und der technologischen Dynamik auf dem Komponentenmarkt nicht getroffen werden. Erfahrungen haben gezeigt, dass nach Ablauf der von den Herstellern angegebenen maximalen Lagerungszeit, durchaus Komponenten weiterverwendet werden konnten. Bei Überschreitung der vom Hersteller zugesicherten Lagerungszeiten geht aber dabei das Risiko vom Komponentenhersteller auf den Anwender über.

Mit Hilfe des in dieser Broschüre vorgestellten Ablaufdiagramms kann das Risiko minimiert und eine kontrollierte Lagerung mit Monitoring durchgeführt werden.

Aufwendungen für Langzeitlagerungen können reduziert werden, wenn bereits bei Design und Komponentenauswahl die Aspekte der Langzeitverfügbarkeit und Lagerfähigkeit berücksichtigt werden. Rechtliche Rahmenbedingungen und Restriktionen werden zukünftig verstärkt zu berücksichtigen sein.



Bildquelle: Robert Bosch

9. Redaktion, beteiligte Firmen

Redaktionsteam

Lauer, Thomas – Cassidian
Steinhäuser, Jürgen – Elesta relays
Bartsch, Thilo – Infineon Technologies
Külls, Robert – Pancon
Dr. Becker, Rolf – Robert Bosch
Lautenschlager, Ulrich – s.e.t. electronics
Hofmann, Harald – Siemens, Industry Sector
Niklas, Ulrich – Zollner Elektronik
Kaiser, Volker – ZVEI

Beteiligte Firmen

Atmel Automotive	Pancon
Atotech Deutschland	Robert Bosch
Becom Electronics	Rohde & Schwarz
Brose Fahrzeugteile	s.e.t. electronics
Cassidian	Schweizer Electronic
EADS Deutschland	Seuffer
Elesta relays	Siemens
Elschukom Elektroschutzkomponentenbau	Siemens, Industry Sector
Fela	Siemens, Healthcare Sector
Freescale Semiconductor	Smyczek
Infineon Technologies	STMicroelectronics Application
Keba	TA6.7 Technischer Ausschuss Relais
KSG Leiterplatten	Texas Instruments Deutschland
Marquardt	TQ-Components
Mektec Europe	TQ-Systems
Mentor	Tyco Electronics AMP
Murata Elektronik	Vacuumschmelze
NXP Semiconductors Germany	Varta Microbattery
Osram Opto Semiconductors	VIA electronic
Panasonic Electric Works Europe	Zollner Elektronik
Productware	ZVEI



Der Arbeitskreis Lagerfähigkeit anlässlich einer Arbeitssitzung (nicht alle Mitglieder anwesend)

Bildquelle: ZVEI

10. Literatur

- [1] Titel (Englisch) ‚Handling, Packing, Shipping and Use of Moisture/Reflow Sensitive Surface Mount Devices‘
Titel (Deutsch) ‚Handhabung, Verpackung, Versand und Einsatz feuchtigkeits-/Reflow-empfindlicher Bauelemente für Oberflächenmontage‘
(IPC/JEDEC J-STD-033)
- [2] Titel (Englisch) ‚Moisture/Reflow, Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices‘
Titel (Deutsch) ‚Feuchtigkeits-/Reflow- Empfindlichkeits-Klassifizierung für nichthermetische, elektronische Bauelemente für die Oberflächenmontage‘
(IPC/JEDEC J-STD-020)
- [3] ‚Long-Term Storage for Electronic Solid-State Wafers, Dice, and Devices‘
(JEP160)
- [4] Titel (Englisch) ‚Electronic components. Long duration storage of electronic components. Guidance for implementation‘
Titel (Deutsch) ‚Elektronische Bauteile. Langzeitlagerung elektronischer Bauteile. Anleitung für die Durchführung‘
(IEC/PAS 62435)
- [5] ‚Langzeitlagerung von elektronischen Bauelementen – Spezifikation für die Ausführung‘
(DIN CLC/TS 50466)
- [6] ‚Accelerated Ageing and Solderability Test of Tin Plated Components‘
(Marc Dittes, Gerhard Haubner, Infineon Technologies AG)
- [7] Alterungsstudie
‚Recherche zur Lagerfähigkeit/Alterung von Elektronik in Kraftfahrzeugen‘
(microtec)
- [8] ZVEI-Weißbuch
Titel (Englisch) ‚Long-Term Supply of the Automotive Industry with Electronic Components and Assembly‘
Titel (Deutsch) ‚Langzeitversorgung der Automobilindustrie mit Elektronischen Baugruppen‘
- [9] ZVEI-Leitfaden
Titel (Englisch) ‚Influencing factors on components and printed circuit boards resulting from the increased thermal requirements of Pb-free packaging and assembly processes‘
Titel (Deutsch) ‚Einflussfaktoren auf Bauelemente und Schaltungsträger durch erhöhte thermische Anforderungen in bleifreien AVT-Prozessen‘
- [10] ‚GEIA-Standard-0003 – Long Term Storage of electronic devices‘
- [11] White Paper ‚End-of-Life Management von elektronischen Baugruppen‘
(Lacon)
- [12] ‚Recommendation for good practice in handling, packing and storage‘
(IEC Technical Report TR 62258-3)

- [13] Titel (Englisch) ‚Acceptability of Electronic Assemblies‘
 Titel (Deutsch) ‚Abnahmekriterien für elektronische Baugruppen‘
 (IPC-A-610)
- [14] Primärbatterien – Teil 1 ‚Allgemeines‘
 (DIN EN 60086-1 – IEC 60086-1)
- [15] Primärbatterien – Teil 2 ‚Physikalische und elektrische Spezifikationen‘
 (DIN EN 60086-2 – IEC 60086-2)
- [16] Titel (Englisch) ‚Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Safety requirements for portable sealed secondary cells, and for batteries made from them, for use in portable applications‘
 Titel (Deutsch) ‚Akkumulatoren und Batterien mit alkalischen oder anderen nicht säurehaltigen Elektrolyten – Sicherheitsanforderungen für tragbare gasdichte Akkumulatoren und daraus hergestellte Batterien für die Verwendung in tragbaren Geräten‘
 (DIN – IEC 62133)
- [17] ZVEI-Broschüre
 ‚Technologieroadmap 2020 – Elektronische Komponenten und Systeme‘
- [18] ZVEI-Broschüre
 Titel (Englisch) ‚Pb-free: Sn Finishes with low Whisker Propensity, Processability, Soldering & Solder Heat Resistance for Automotive Applications‘
 Titel (Deutsch) ‚Pb-frei: Whiskerarme Sn-Oberflächen, Verarbeitbarkeit, Löten und Löt-wärmebeständigkeit für Automotive Anwendungen‘
- [19] ‚Titel (englisch) ‘Environmental testing - Part 2-82: Tests - Test Tx: Whisker test methods for electronic and electric components‘
 Titel (deutsch): Umgebungseinflüsse - Teil 2-82: Prüfungen - Prüfung Tx: Whisker-Prüfverfahren für elektronische und elektrische Bauelemente‘
 DIN EN 60068-2-82:2007-12 – IEC 60068-2-82:2007



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik
und Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-0
Fax: +49 69 6302-317
E-Mail: zvei@zvei.org
www.zvei.org