

**DIN EN IEC 62435-7
(VDE 0884-135-7)**
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 31.200

Einsprüche bis 2019-03-25

Entwurf
**Langzeitlagerung elektronischer Bauteile –
Teil 7: Bauelemente der Mikrosystemtechnik
(IEC 47/2507/CD:2018);
Text Deutsch und Englisch**

Long-term storage of electronic components –
Part 7: Micro-electromechanical devices
(IEC 47/2507/CD:2018);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-01-25 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 37 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort.....	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Lagerungsaspekte	8
4.1 Überblick über MEMS-Anwendungen	8
4.2 Ausfallmechanismen	8
4.3 Materialmanagement.....	13
4.4 Lagerungsmedien.....	14
4.5 Dokumentation/Losidentifikatoren in Papierform	14
4.6 Bestandsüberprüfung	14
4.7 Erneuerung der Trockenverpackung des Bestands.....	15
4.8 Neubewertung des Bestands	15
5 Grundlegende Anforderungen für die Langzeitlagerung	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Kennzeichnung der Feuchteempfindlichkeit.....	15
5.3 Trockenverpackung für die Lagerung.....	15
5.4 Lagerung von nicht feuchteempfindlichen Teilen	16
5.5 Lagerung von MEMS-Bauelementen vor der Montage	16
5.6 Lagerung von feuchteempfindlichen fertigen Bauelementen	16
Anhang A (informativ) Überlegungen zur Lagerungsumgebung für fertig gestellte Bauelemente oder Bauelemente in Gehäusen.....	19
Literaturhinweise.....	20
Tabellen	
Tabelle 1 – Ausfallmechanismen in der Lagerung und während der Lagerung zu begrenzende Auslöser.....	9
Tabelle 2 – Langzeitumgebung – Anforderungen für ununterbrochene Bedingungen	13
Tabelle 3 – Überlegungen zu Management, Überwachung und Dokumentation während der Lagerung	14
Tabelle A.1 – Umgebung der Langzeitlagerung – Überlegungen zur Aufrechterhaltung der Bedingungen	19

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47/2507/CD:2018 „Long-term storage of electronic components – Part 7: Micro-electromechanical devices“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 47 „Semiconductor devices“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 631 „Halbleiterbauelemente“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten 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.

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

Die deutsche Übersetzung wurde in [Abschnitt 2](#) an den aktuellen Standardtext angepasst.

Einleitung

Dieses Dokument ist für die Langzeitlagerung elektronischer Bauteile anwendbar.

Dies ist ein Dokument zur Langzeitlagerung elektronischer Bauelemente und bezieht sich auf die besten heute bekannten Praktiken zur Langzeitlagerung. Für die Anwendung dieses Dokuments ist die Langzeitlagerung definiert als jede Lagerung eines Bauelementes, deren mögliche Dauer über 12 Monate für die Langzeitlagerung des vorgesehenen Produkts betragen kann. Obwohl dieses Dokument gedacht ist für die Lagerung von Halbleiterbauelementen ohne Gehäuse und elektronischen Bauelementen mit Gehäuse, wird in diesem Dokument in keiner Weise die Lagerung von anderen Produkten unter den hier festgeschriebenen Lagerungsbedingungen ausgeschlossen.

Obwohl sie stets in gewissem Umfang gegenwärtig war, wurde die Obsoleszenz elektronischer Bauteile, insbesondere von integrierten Schaltungen, in den letzten Jahren zunehmend bedeutungsvoller.

Angesichts des derzeitigen technologischen Booms ist die wirtschaftliche Lebensdauer eines Bauteils mittlerweile im Vergleich zu Industrieausrüstungen in Bereichen wie Luftfahrt, Schienenverkehr oder Energie sehr kurz geworden.

Die vielen Lösungen, die es ermöglichen, der Obsoleszenz zu begegnen, sind jetzt erkannt. Allerdings sollten der Auswahl einer dieser Lösungen sowohl eine technische Fallstudie als auch eine wirtschaftliche Durchführbarkeitsstudie vorausgehen, und zwar abhängig davon, ob die Lösung für den Kundendienst oder die Fertigung vorgesehen ist, zum Beispiel:

- Lagerung zur Abhilfe, sobald Bauteile nicht mehr länger am Markt sind;
- Lagerung zur Prävention, um einer Erklärung der Obsoleszenz zuvorzukommen.

Wenn man die erwarteten Nutzungsdauern von einigen Anlagen, die manchmal einige Dekaden betragen, die Qualifizierungszeiten und die Kosten der Nichtverfügbarkeit, die ebenfalls sehr hoch sein können, berücksichtigt, sollte die anzuwendende Lösung für die Obsoleszenz oft sehr zügig umgesetzt werden. Aus diesem Grund besteht die meistens gewählte Lösung in der systematischen Lagerung der Bauteile, welche sich im Prozess einer werdenden Obsoleszenz befinden.

Die technischen Risiken dieser Lösung sind a priori recht gering. Sie erfordert jedoch eine perfekte Beherrschung des umgesetzten Prozesses und ganz besonders der Lagerungsbedingungen, wobei diese Beherrschung kritisch wird, wenn es zu einer Langzeitlagerung kommt.

Alle Maßnahmen zur Handhabung, zum Schutz, zur Lagerung und zur Prüfung sollten empfehlungsgemäß entsprechend dem Stand der Technik durchgeführt werden.

Die Anwendung der in diesem Dokument vorgeschlagenen Herangehensweise garantiert unter keinen Umständen, dass sich die gelagerten Bauteile am Ende der Lagerung in einwandfreiem Betriebszustand befinden. Sie ist nur ein Mittel, um die potenziellen und wahrscheinlichen Degradationsfaktoren so gering wie möglich zu halten.

Einige Anwender elektronischer Bauelemente benötigen eine Lagerung elektronischer Bauelemente über lange Zeitspannen. Oftmals werden Beschaffungen für die gesamte Nutzungsdauer durchgeführt, um eine Fertigung von Baugruppen aufrechtzuerhalten, die länger laufen soll als die Produktionsdauer der verwendeten Einzelteile. Das bringt den Anwender in eine Lage, die eine sorgfältige und adäquate Lagerung dieser Teile erfordert, um die Lötbarkeit wie im Anlieferzustand aufrechtzuerhalten und Degradationseffekte an dem Teil für diese Zeitspanne so gering wie möglich zu halten. Die wesentlichen Degradationsfaktoren sind Feuchte, elektrostatische Felder, ultraviolettes Licht, große Temperaturschwankungen, Luftverunreinigungen und Ausgasen.

Garantiefälle und Ersatzteilbeschaffung sind für den Anwender oder das Reparaturunternehmen ebenfalls Herausforderungen, da einige Systeme für lange Einsatzdauern von bis zu 40 Jahren und mehr entwickelt werden. Einige der Bauelemente, die zur Reparatur dieser Systeme benötigt werden, werden über die Lebensdauer der Systeme hinweg nicht vom Originalhersteller verfügbar sein, oder die Ersatzbaugruppe kann im Rahmen der originalen laufenden Fertigung gebaut werden, erfordert dann aber eine

Langzeitlagerung. Dieses Dokument wurde erarbeitet, um einen Standard zum Lagern elektronischer Bauelemente über lange Zeiträume hinweg bereitzustellen. Zur Lagerung von Bauelementen, die feuchteempfindlich sind, aber nicht über lange Zeiträume gelagert werden müssen, sei auf IEC/TR 62258-3 verwiesen.

Langzeitlagerung bedeutet, dass das Bauelement ununterbrochen über mehrere Jahre hinweg gelagert wird. Dabei ist wesentlich, dass es nach der Lagerung verwendungsfähig ist. Besondere Aufmerksamkeit sollte den Lagerungsmedien in der Nähe der Bauelemente sowie den örtlichen Umgebungsbedingungen geschenkt werden.

Diese Leitlinien implizieren keine Produkt- oder Betriebsfähigkeitsgarantie über die vom Hersteller angegebene Lagerungsdauer hinaus.

Mit der Normenreihe IEC 62435 wird beabsichtigt, sicherzustellen, dass eine adäquate Zuverlässigkeit für Bauelemente in Anwendungen nach einer Langzeitlagerung erreicht wird. Die Anwender werden aufgefordert, Daten, die die vom Anwender geforderte Lagerungsdauer nachweisen, von den Lieferanten entsprechend diesen Festlegungen anzufordern. Diese Normen beabsichtigen nicht eingebaute Ausfallmechanismen anzusprechen, die auch ohne Bezug zu den Lagerungsbedingungen auftreten.

Diese Normen sind dafür gedacht, eine praktische Anleitung für Verfahren der langfristigen Lagerung elektronischer Bauteile bereitzustellen, wenn es eine beabsichtigte oder geplante Lagerung des Produkts über mehrere Jahre gibt. Lagerungssysteme für die laufende Fertigung werden entsprechend den internen Prozessvorgaben des Unternehmens gehandhabt und in dieser Normenreihe nicht behandelt.

Die Normenreihe IEC 62435 umfasst mehrere Teile. Teil 1 bis Teil 4 sind für alle Langzeitlagerungen anwendbar und enthalten allgemeine Anforderungen und Anleitungen, während Teil 5 bis Teil 9 für bestimmte einzulagernde Produktarten sind. Es ist vorgesehen, dass der produktspezifische Teil zusammen mit den allgemeinen Anforderungen aus Teil 1 bis Teil 4 gelesen werden sollte.

Auf elektronische Bauteile, die unterschiedliche Lagerungsbedingungen erfordern, wird im Einzelnen ab Teil 5 eingegangen.

Der Aufbau der Normenreihe IEC 62435 ist derzeit folgendermaßen vorgesehen:

- Teil 1 – Allgemeines
- Teil 2 – Schädigungsmechanismen
- Teil 3 – Daten
- Teil 4 – Lagerung
- Teil 5 – Chip- und Wafererzeugnisse
- Teil 6 – Bauelemente in Gehäusen
- Teil 7 – MEMS
- Teil 8 – Passive elektronische Bauelemente
- Teil 9 – Sonderfälle

Langzeitlagerung elektronischer Bauteile – Teil 7: Bauelemente der Mikrosystemtechnik

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Normenreihe IEC 62435 zur Langzeitlagerung ist für mikroelektromechanische Bauelemente (MEMS) in der Langzeitlagerung anwendbar, die als Teil einer Strategie zur Minderung der Obsoleszenzfolgen verwendet werden können. Langzeitlagerung bezieht sich auf die Lagerung über einen Zeitraum, der mehr als 12 Monate für Produkte, die für die Lagerung vorgesehen sind, betragen darf. Die Philosophie, die bewährte Arbeitspraxis und allgemeine Maßnahmen zur Unterstützung einer erfolgreichen Langzeitlagerung von elektronischen Bauteilen werden ebenfalls erörtert.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 60749-20, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 20: Resistance of plastic encapsulated SMDs to the combined effect of moisture and soldering heat*

IEC 60749-20-1, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 20-1: Handling, packing, labelling and shipping of surface-mount devices sensitive to the combined effect of moisture and soldering heat*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Lagerungsumgebung

besonders überwachter Lagerungsbereich, mit ausführlicher Überwachung von Temperatur, Luftfeuchte, Atmosphäre und anderen Bedingungen, die von den Produktanforderungen abhängig sind

3.2

kritischer Feuchtegrenzwert

höchste sichere Gleichgewichtsfeuchte für ein bestimmtes Bauelement in einem Gehäuse bei der Reflow-Montage oder der Nachbearbeitung

3.3

Langzeitlagerung

LTS

(en: long-term storage)

geplante Lagerung von Bauteilen zur Verlängerung des Lebenszyklus für eine Dauer, die eine zukünftige Verwendung ermöglicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Zulässige Lagerungsdauern variieren in Abhängigkeit vom Produkt, vom Formfaktor (z. B. Verpackungswerkstoffe, Bauform) und von den Lagerungsbedingungen. Im Allgemeinen dauert eine Langzeitlagerung mehr als 12 Monate.

3.4

Langzeitlagerraum

Bereich, der Bauteile enthält, welche eine zusätzliche Lagerungsverpackung haben, und zwar zum Schutz gegen Feuchte oder mechanische Beschädigungen oder zur Erleichterung der Identifikation oder Handhabung

3.5

feuchteempfindliches Bauelement

MSD

(en: moisture-sensitive device)

Bauelement, das Feuchte aufnimmt oder speichert, und dessen Qualität, Prozesseignung oder Zuverlässigkeit durch die Feuchte beeinflusst wird

3.6

elektronisches Bauelement

elektrisches, elektronisches, elektromechanisches (EEE) Teil in einem Gehäuse oder Baugruppe, in dem/der ein derartiges Teil verwendet wird

3.7

Trockenmittel

hygroskopischer Stoff, der verwendet wird, um Feuchte aus einer Atmosphäre zu entfernen

3.8

Feuchteschutzbeutel

MBB

(en: moisture barrier bag)

Lagerungsverpackung, die aus einer flexiblen laminierten Dampfsperrfolie hergestellt wird, welche das Durchlassen von Wasserdampf begrenzt

Anmerkung 1 zum Begriff: Bezüglich der Verpackung von feuchteempfindlichen Produkten wird auf IEC 60749-20-1 verwiesen.

3.9

Feuchteindikatorkarte

HIC

(en: humidity indicator card)

Karte, die mit einer feuchteempfindlichen Chemikalie bedruckt wird und die ihre Farbe von blau nach rosa ändert, wenn Wasserdampf vorhanden ist

3.10

Wasserdampfdurchgangsrate

WVTR

(en: water vapour transmission rate)

Maßgröße für die Durchlässigkeit von Feuchteschutzbeuteln für Wasserdampf

3.11

Füllmaterial

alle Gegenstände, die zusätzlich zu dem elektronischen Bauteil im Gehäuse in einem Feuchteschutzbeutel gelagert werden

3.12

Entladung statischer Elektrizität

ESD

(en: electro-static discharge)

Übertragung elektrischer Ladung zwischen Körpern verschiedenen elektrischen Potentials bei deren Annäherung oder direkter Berührung (IEC IEC 561-03-06)

4 Lagerungsaspekte

4.1 Überblick über MEMS-Anwendungen

Mikrosysteme (MEMS, en: micro-electromechanical systems) sind mechanische oder elektromechanische Bauteile im Kleinen, deren Größen von üblicherweise 1 bis 1 000 Mikrometern variieren, und die zur mechanischen Messung oder Beeinflussung von Materialien oder Licht, oder zur Erzeugung elektrischer Signale aus Eingangswerten der Umgebung verwendet werden. Bei der Lagerung von MEMS-Bauelementen sollten aufgrund der mechanischen Art der Bauelemente viele verschiedene Empfindlichkeiten und Risiken im Vergleich zu anderen Halbleiterbauelementen berücksichtigt werden. MEMS können neben den herkömmlichen Halbleiter-Leistungsmechanismen unter Umständen weiteren mechanischen Leistungs- und Ausfallmechanismen unterliegen. MEMS-spezifische Ausfälle, die bekannt sind, sind:

- Haftreibung in Verbindung mit Reibung, die eine mechanische Reaktion verhindert;
- mechanischer Verschleiß in Verbindung mit andauernder mechanischer Bewegung;
- Fremdmaterial aufgrund von Verschleiß oder verborgenem Prozessfehler und somit verlangsamte mechanische Bewegung;
- Fehler wegen Sprödigkeit in einem Teil oder Material im Bauelement aufgrund statischer oder dynamischer mechanischer Belastung.

Im Lagerungsplan sollten zusätzlich zu den herkömmlichen Halbleiteranwendungen die Endanwendung und die Ausfallmechanismen in Bezug auf die Funktion des MEMS-Bauelements berücksichtigt werden. Eine Auflistung von Anwendungen ist für erste Überlegungen und eine erste Risikobeurteilung unten aufgeführt.

- Mechanische Bewegung verursacht durch Elektrostatik, Temperaturveränderungen oder piezoelektrischen Effekten;
- mechanische Abtastung durch Beschleunigung, Schwingung, Feld-/Flussmessung, magnetischen Feldern, Elektrostatik, optischen Reizen oder Strahlungseffekten;
- Fluidstrommessung durch Druck- oder Kraftdifferenzen in Raum und Zeit;
- chemische Sensoren bei durch Gas oder Flüssigkeit verursachten Änderungen der mechanischen Reaktion (unter Umständen bestehen hierfür auch Anforderungen bezüglich Feuchte oder Lösemittel mit Mindesthaltbarkeit);
- biologische Sensoren in Verbindung mit durch Flüssigkeit, mechanisch oder strömungsmechanisch verursachten Änderungen der mechanischen Reaktion (unter Umständen bestehen hierfür auch Anforderungen bezüglich Feuchte oder Lösemittel mit Mindesthaltbarkeit).

4.2 Ausfallmechanismen

4.2.1 Auftreten von Ausfällen und Antriebskraft

Ausfälle während der Langzeitlagerung dürfen durch die Überwachung der Auslöser, die vorgegebene Ausfallarten, die durch eine Werkzeuge zur Risikobeurteilung, wie zum Beispiel eine Ausfalleffektanalyse (en: Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)), definiert werden, verringert werden. Ausfälle im Zusammenhang mit der Lagerung werden oftmals als Arten des Betriebsversagens, als visuelle Qualität, verringerte Lebensdauer oder andere Nichtübereinstimmung erkannt. Die Ausfallarten während der Lagerung stehen üblicherweise im Zusammenhang mit einem Ausfallmechanismus, der durch einen physikalischen Auslöser oder einen Zustand veranlasst wird. Eine erfolgreiche Langzeitlagerung wird durch die Überwachung der Auslöser von Ausfallmechanismen, welche anhand einer Ausfalleffektanalyse oder eines anderen Werkzeugs zur Risikobeurteilung auf Grundlage von Informationen aus der technischen Entwicklung und Prüfung erkannt wurden, erreicht. [Tabelle 1](#) „Ausfallmechanismen in der Lagerung und während der Lagerung zu begrenzende Auslöser“ enthält Beispiele für Auslöser von Ausfällen. [IEC 62435-2](#) (Schädigungsmechanismen) enthält weitere Beispiele für Schädigungsmechanismen. Die erfolgreiche Langzeitlagerung wird durch die Verringerung von Ausfällen mittels Überwachung von deren Auslösern und Antriebskräften erreicht.

Tabelle 1 – Ausfallmechanismen in der Lagerung und während der Lagerung zu begrenzende Auslöser (1 von 4)

Ausfallmechanismus	Einzelheiten zum Ausfallmechanismus	Ausfallmodus	Auslöser der Mechanismen
Popcorn-Effekt	hochgradige Dampfausdehnung in einem Gehäuse während der Oberflächenmontage	Unterbrechung, Blasenbildung, Risse im Gehäuse	Temperaturanstieg und daraus resultierender Wasserdampf
Handhabungsschäden	Risse	Unterbrechung, Kurzschluss, sichtbarer Riss, Verschlechterung des Sensorsignals	Krafteinwirkung
	sichtbarer Kratzer/Fleck	Unterbrechung, Kurzschluss, Spur auf der Oberfläche, Verschlechterung des Sensorsignals	mechanischer Abrieb
	physischer Riss in der Sensoreinheit	Unterbrechung, Kurzschluss, Verschlechterung des Sensorsignals	übermäßige Druckänderung
	mechanische Überlastung	Empfindlichkeitsänderung, nichtparametrische Empfindlichkeit, Offsetverschiebung, Stuck-at-Fehler	Quellen für mechanische Überlastung sind Stöße, Ermüdung, Schwingung, Korrosion oder die Auswirkungen von unbemerkter elektrischer Überlastung (EOS, en: electrical overstress) oder Entladung statischer Elektrizität (ESD, en: electro-static discharge), die zu Strukturschäden an den MEMS-Messumformerteilen führen.
	gebrochene Feder	nichtparametrische Empfindlichkeit	MEMS-Wegaufnehmer nutzen üblicherweise mehrere Federn, um die mechanische Positionierung innerhalb der Grenzen des Wegs und der linearen Empfindlichkeit zu ermitteln. Wenn Federn durch übermäßige Handhabung beeinträchtigt werden, wird die Differenz zwischen Federn und Prüfmasse beeinträchtigt, woraus sich Fehler aufgrund nichtlinearer Empfindlichkeit ergeben.
	gebrochener Finger	Empfindlichkeitsverschiebung, Offsetverschiebung, Änderung der Sensordynamik	Die ineinandergreifenden kapazitiven Finger zur Ermittlung der Bewegung der Prüfmasse sind beschädigt. Wenn ein Finger bricht, wird die Gesamtkapazität verringert, was zu einer Abnahme der Empfindlichkeit und Offsetverschiebung führt.

Tabelle 1 (2 von 4)

Ausfallmechanismus	Einzelheiten zum Ausfallmechanismus	Ausfallmodus	Auslöser der Mechanismen
	Bruch der Hohlraumdichtung	Empfindlichkeitsverschiebung, Offsetverschiebung, Änderung der Sensordynamik	Der Abstand zwischen den Fingern sorgt aufgrund der im Hohlraum eingeschlossenen Gasmoleküle für eine aerodynamische Dämpfung, die proportional zum Druck des eingeschlossenen Gases ist. Der geringere Druck führt zu einer Erhöhung der Empfindlichkeit und anschließend zu einer Änderung der Sensordynamik oder Grenzfrequenz.
	gebrochene Membran	Offsetverschiebung, Stuck-at-Fehler	Druckwandler sind Membranen, die piezoresistente Bauteile einer Beanspruchung aussetzen oder einen kapazitiven Spalt ändern. Wenn eine Membran bricht, kommt es zu einem Offset oder einem vollständigen Verlust der Empfindlichkeit, was wiederum zu einem Stuck-at-Erdschluss führt.
	gebrochener Anker	Offsetverschiebung, Stuck-at-Fehler	Wegaufnehmer verfügen üblicherweise über Federn mit Ankern zur Begrenzung der Weglänge. Wenn der Anker oder Wegbegrenzer bricht, wird die Prüfmasse verstellt oder verlässt den Messbereich und kommt in Berührung mit den Innenflächen des Hohlraums, wodurch es zu einem Stuck-at-Fehler kommt.
Datenverlust/Beschädigung des Bauelements (derzeit nicht typisch für MEMS)	Kurzschluss/Unterbrechung/Fehler durch Strom infolge eines elektromagnetischen Felds	Unterbrechung, Kurzschluss, Datenverfälschung	elektromechanisches Feld
	Unterbrechung, Kurzschluss oder Fehler durch hohe ionisierende Strahlung	Unterbrechung, Kurzschluss, Datenverfälschung	hochenergetische Strahlung, Röntgenstrahlung
	Soft-Error durch Beschädigung des Bauelements	Unterbrechung, Kurzschluss oder Datenverfälschung	Treffer durch Neutronenteilchen; Treffer durch Aussendung von Alphateilchen
Färbungsrückstand	Änderung der Oberflächenerscheinung und Festlegung infolge ungeplanter Beanspruchung durch oxidierende Bestandteile	sichtbarer Fehler, nicht konforme Erscheinung und Möglichkeit einer fehlerhaften Verarbeitung	Beanspruchung aussetzen mit daraus folgender Alterung, Oxidierung oder Härtung des Rückstands

Tabelle 1 (3 von 4)

Ausfallmechanismus	Einzelheiten zum Ausfallmechanismus	Ausfallmodus	Auslöser der Mechanismen
Alterung von polymerem Material	Versprödung des Polymers	sichtbare Risse, Unterbrechung oder Kurzschluss, Verschlechterung des Sensorsignals	Temperaturbeanspruchung, mechanische Eigenspannung und helles Licht
Probleme der Lagerungsmedien	Versprödung/Alterung des Gurts auf der Spule oder des Rohrs	Fehlausrichtung während der Verarbeitung	Temperaturbeanspruchung, mechanische Beanspruchung und helles Licht
	Alterung und Versprödung von Behälter und Rohr	herabgefallene Teile aus zerbrochenen Ablagekastenmedien oder Teile außerhalb des geformten Fachs	Temperatur, Handhabung und helles Licht
	Alterung und Versprödung des Kastens	herabgefallene Teile; Unterbrechungen oder Kurzschlüsse infolge von ESD; Fremdmaterial; mechanische Fehlfunktion aufgrund von Teilchen	Temperatur und helles Licht
	Schädigung der ESD-Beschichtung	Unterbrechungen oder Kurzschlüsse infolge von ESD	Reibungsaufladung oder Differenz des Ladungspotentials
	Alterung des Etiketts	unlesbares Kennzeichen	helles Licht, Temperatur
		fehlendes Etikett	Temperatur und helles Licht
		sprödes Abblättern – teilweise fehlendes Etikett	Temperatur und helles Licht
indirekte Materialprobleme	Leck im Feuchteschutzbeutel	Auslöser der Feuchteindikatorkarte, sichtbare Nichtübereinstimmung	Abrieb, Verbiegen und Stoßbelastung bei der Handhabung
	Feuchteindikatorkarte deaktiviert	falsche Farbe oder keine Feuchtebeanspruchung angezeigt	Temperatur und Feuchtebeanspruchung vor der Verwendung
	Alterung des Etiketts	unlesbares Kennzeichen; fehlendes Etikett; sprödes Abblättern – teilweise fehlendes Etikett	helles Licht, Temperatur; Temperatur und helles Licht; Temperatur und helles Licht
Lötbarkeit	Herstellung einer guten Lötverbindung nicht möglich	elektrische Unterbrechung nach der Oberflächenmontage	Beanspruchung durch Temperatur, Feuchte

Tabelle 1 (4 von 4)

Ausfallmechanismus	Einzelheiten zum Ausfallmechanismus	Ausfallmodus	Auslöser der Mechanismen
Korrosion	elektrochemische Reaktion und daraus resultierender Ausfall oder verringerte mechanische Funktionalität	Unterbrechung, Kurzschluss, sichtbare Nichtübereinstimmung, Ausfall oder Verschlechterung des Sensorsignals im Zusammenhang mit Haftreibung	Temperatur, galvanische Zelle, chemische Rückstände
Haftreibung	verringerte mechanische Bewegung aufgrund von Effekten der Antihafbeschichtung: führt unter Umständen zu Korrosion, Oxidation, Fremdmaterial oder mechanischem Verschleiß	Verschlechterung des Sensorsignals, Verschiebung, nichtparametrische Empfindlichkeit und Stuck-at-Fehler	Temperatur, Feuchte, Nutzungszyklen, dynamische Beanspruchungen/Schwingung, Kapillar- oder elektrostatische Kräfte sorgen dafür, dass herabhängende/auskragende Oberflächen aufgrund von Unregelmäßigkeiten von Beschichtungen, die zur Verhinderung dieser Effekte vorgesehen sind, an anderen sich bewegenden Oberflächen oder fest angebrachten Oberflächen hängenbleiben
Verschleiß	Funktionsbeeinträchtigung in Verbindung mit der Verwendung einer mechanischen Funktion	Verschlechterung des Sensorsignals	mechanische Wechselbeanspruchung, dynamische Beanspruchungen/Schwingung
Fremdmaterial / Teilchen	unerwartete Teilchen oder andere Materialien, die die mechanische Funktionalität verhindern	Verschlechterung des Sensorsignals	mechanische Wechselbeanspruchung, dynamische Beanspruchungen/Schwingung. Ein Teilchen kann je nach Leitfähigkeit des Teilchens und der einzelnen Teile des von ihm berührten Messumformers zu mehreren Fehlzustandsarten führen. Es kann auch die Bewegung der Teile beeinträchtigen. Teilchen können unter Umständen zu intermittierenden Fehlzuständen und allgemeiner Unvorhersehbarkeit führen.
Schwächung des Lösemittels	ineffektives Lösemittel für chemischen oder biologischen Sensor	Verschlechterung des Sensorsignals	Alterung des Lösemittels durch Temperatur, Feuchte oder Strahlung
Zinnwhisker	Bildung eines Whisker-Fadens durch Versetzungen in den Metallschichten mit einem Gradienten der mechanischen Oberflächenbeanspruchung	sichtbare Whisker, Kurzschluss	helle Sn-Oberfläche (nicht legiert), Wachstum von Kristallversetzungen (in vollständigen Teilen); durch Schwefelgas katalysierte Reaktion