

Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen
Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)
(IEC 56/735/CD:2001)

DIN
IEC 60812

Einsprüche bis 2001-11-30

ICS 21.020; 29.020

Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode
and effects analysis (FMEA)
(IEC 56/735/CD:2001)

Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes — Procédure
d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)
(CEI 56/735/CD:2001)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Das internationale Schriftstück IEC 56/735/CD:2001-04 „IEC 60812, Ed. 2: Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)“ ist unverändert in diesen deutschen Norm-Entwurf übernommen worden.

Fortsetzung Seite 2 bis 38

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Nationales Vorwort

Die Fehlzustandsart- und auswirkungsanalyse (FMEA) und die Fehlzustandsart-, auswirkungsanalyse und kritizitätsanalyse (FMECA) sind in Deutschland besser bekannt unter der Benennung Ausfalleffektanalyse (Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse), siehe hierzu auch DIN 25448. Das FMEA-Verfahren ist in der Industrie, z. B. im Fahrzeugbau weit verbreitet und wird mit Erfolg angewendet. Mit der FMEA werden allerdings nicht nur Ausfälle analysiert, sondern auch Fehlzustände, oft ungenau mit Fehler bezeichnet. Es sei daran erinnert, dass ein Ausfall ein Ereignis ist, ein Fehlzustand dagegen ein Zustand.

Auf internationalem Gebiet wird z. Z. darüber diskutiert, ob das "F" in FMEA für englisch "failure" (deutsch "Ausfall") oder für englisch "fault" (deutsch "Fehlzustand") steht. Im Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch, Kapitel 191: Zuverlässigkeit und Dienstgüte, IEC 50(191):1990 sind beide Begriffe ("fault modes and effect analysis" und "failure modes and effect analysis") genannt, die Deutsche Ausgabe nennt Fehlzustandsart- und auswirkungsanalyse (FMEA) sowie Fehlzustandsart-, auswirkungsanalyse und kritizitätsanalyse (FMECA).

In dem vorliegenden Internationalen Norm-Entwurf steht das "F" für "failure". In der deutschen Übersetzung wird der im Deutschen unübliche Begriff "Kritizität" (engl. criticality) soweit wie möglich vermieden und anstelle der Begriff "Ausfallbedeutungsanalyse" nach DIN 25448 verwendet.

Die Durchführung einer FMEA kann durch detaillierte Handbücher und Rechenprogramme unterstützt werden, darauf geht vorliegender Norm-Entwurf bewusst nicht ein und es ist nicht beabsichtigt, dazu Anleitungen oder Hinweise zu geben.

Eine FMEA muss im Zusammenhang mit anderen Techniken für die Analyse der Zuverlässigkeit gesehen werden. DIN IEC 60300-3-1:1994 befindet sich gerade international in der Überarbeitung, ein deutscher Norm-Entwurf hierzu ist in Vorbereitung. Ferner wird auf die Störungsbaumanalyse nach DIN IEC 61025 verwiesen.

Dieser Norm-Entwurf enthält die deutsche Übersetzung des Internationalen Norm-Entwurfs [Committee Draft (CD)] IEC 56/735/CD:2001 IEC 60812, Ed. 2: Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA),“.

Der Internationale Entwurf wurde vom TC 56 „Dependability“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und als CD herausgegeben. Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene entstandener Internationaler Norm-Entwurf im Schlussstadium [Final Draft International Standard (FDIS)] zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Abstimmung gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS nur 2 Monate beträgt, und zum FDIS 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 Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit noch vor der Abstimmung berücksichtigen zu können.

Für den vorliegenden Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 132 „Zuverlässigkeit“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
-	IEC 61160	-	-
-	IEC 61025:1990	DIN IEC 61025:1993-12	-
EN 61078:1993	IEC 61078:1991	DIN EN 61078:1994-10	-
EN 60300-1:1993	IEC 60300-1:1993	DIN ISO 9000-4:1994-06	-
EN 60300-2:1996	IEC 60300-2:1995	DIN EN 60300-2:1996-10	-

Nationaler Anhang NB (informativ) **Literaturhinweise**

DIN EN 61078, *Techniken für die Analyse der Zuverlässigkeit - Verfahren mit Zuverlässigkeitsblockdiagramm (IEC 61078:1991); Deutsche Fassung EN 61078:1993*

DIN EN 60300-2, *Zuverlässigkeitsmanagement – Teil 2: Zuverlässigkeitsprogrammelemente und –aufgaben (IEC 60300-2:1995); Deutsche Fassung EN 60300-2:1996*

DIN IEC 61025, *Störungsbaumanalyse, Identisch mit IEC 61025:1990*

DIN ISO 9000-4, *Normen zu Qualitätsmanagement und zur Darlegung von Qualitätsmanagementsystemen – Leitfaden zum Management von Zuverlässigkeitsprogrammen (Identisch mit ISO 9000-4:1993 bzw. IEC 60300-1:1993); Deutsche Fassung EN 60300-1:1993*

Deutsche Übersetzung

Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)

Inhalt

	<u>Seite</u>
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Einführung	6
4.1 Allgemeines	6
4.2 Zweck der Analyse	6
5 Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)	7
5.1 Grundlegende Prinzipien der FMEA.....	7
5.2 Verfahren	7
5.3 Zusatzinformationen	11
6 Ausfallbedeutungsanalyse (FMECA)	21
6.1 Zweck der Analyse	21
6.2 Beziehung zwischen FMECA und Risikoanalyse.....	22
6.3 Prinzipien einer Ausfallbedeutungsanalyse.....	22
6.4 Allgemeines Verfahren	23
6.5 Schätzung der Schwere der Auswirkung	24
6.6 Ermittlung der Ereignishäufigkeit.....	24
6.7 Gitternetz für die Ausfallbedeutung	24
6.8 Analysebericht	24
7 Anwendungen.....	24
7.1 Anwendungsgebiet.....	24
7.2 Anwendung in einem Projekt.....	25
8 Zusammenfassung der Analyse.....	28
Anhang A (Informativ) Zusammenfassung der Verfahrensschritte für FMEA und FMECA	29
Anhang B (Informativ) Analysebeispiele	30
B. 1 Beispiel 1. FMECA für das Brandschutzsystem einer elektrischen Lokomotive	30
B. 2 Beispiel 2. FMECA für Teilsystem eines Motor-Generator Satzes	32
B.3 Beispiel einer Prozess-FMEA	36

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm beschreibt Verfahren für die Fehlzustandsart- und auswirkungsanalyse (FMEA) und die Fehlzustandsart-, auswirkungsanalyse und kritizitätsanalyse (FMECA) und gibt Ratschläge, wie diese Verfahren verwendet werden können um im Zusammenhang mit zuverlässigen Entwürfen eine Reihe von Zielen erreichen zu können. Hierzu wird wie folgt angeleitet:

- a) durch das beschreiben der für die Durchführung einer Analyse notwendigen Verfahrensschritte (diese sind im Anhang A zusammengefasst);
- b) durch das ermitteln geeigneter Begriffe, Annahmen, Fehlzustandsarten und Maßgrößen für die Kritizität;
- c) durch das festlegen der grundlegenden Prinzipien;
- d) durch das bereitstellen von Beispielen der notwendigen Arbeitsblätter;
- e) durch das bereitstellen von Empfehlungen für Anwendungen von FMEA und FMECA.

Alle für FMEA gemachten allgemeinen qualitativen Betrachtungen gelten auch für FMECA. Jedoch sind FMEA und FMECA dahingehend unterschiedlich, dass eine FMEA für sich alleine durchgeführt werden kann, wogegen eine Bedeutungsanalyse (engl.: criticality analysis) in Verbindung mit einer FMEA durchgeführt werden muss. FMECA unterscheidet sich weiterhin von FMEA dadurch, dass FMECA quantitativ ist. Aus diesen Gründen werden die beiden Analyseverfahren in dieser Norm getrennt behandelt. Beispiele von FMECA und FMEA sind im Anhang B gegeben.

Obwohl IEC 60812 die Anwendung von FMEA und FMECA für das Erreichen zuverlässiger Entwürfe beschreibt, können außerdem FMEA als auch FMECA für die Entwicklung zuverlässiger Prozesse verwendet werden. Ein Beispiel solch einer Anwendung ist ebenfalls im Anhang B gegeben. (Siehe Beispiel in B.3.)

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normative Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil des vorliegenden Internationalen Norm-Entwurfes sind. Für datierte Verweise gelten spätere Änderungen oder Bearbeitungen der zitierten Internationalen Normen nicht. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf diesem Internationalen Norm-Entwurf basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Für nicht datierte Verweise gilt die jeweils aktuellste Fassung des Verweisdokumentes. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

IEC 61160 *Formal design review*

IEC 61025 *Fault tree analysis (FTA)*

IEC 61078 *Analysis techniques for dependability – Reliability block diagram method*

IEC 60300-1 (2nd Ed.) *Dependability management – Part 1: Dependability management systems*

IEC 60300-2 (2nd Ed.) *Dependability management – Part 2: Guidance for dependability programme management*

3 Begriffe

Für diese Internationale Norm gelten folgende Begriffe.

3.1

Ausfallauswirkung

Folge einer Ausfallart in hinsichtlich des Betriebs, der Funktion oder des Zustands eines Systems.

3.2

Ausfallart

Auswirkung durch die ein Ausfall beobachtet wird.

3.3

Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse^{N1)}

Qualitatives Analyseverfahren der Zuverlässigkeit, welches die unterschiedlichen Arten der Fehlzustände, die in jeder Untereinheit der Einheit vorkommen können, sowie die Feststellung der Auswirkungen jeder Art eines Fehlzustandes auf andere Untereinheiten der Einheit und auf die geforderten Funktionen der Einheit einbezieht.

3.4

Kritizität^{N2)}

Kombination der Schwere einer Auswirkung und der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens (oder erwartete Häufigkeit).

4 Einführung

4.1 Allgemeines

FMEA und FMECA (siehe Abschnitt 6) sind wichtige Mittel zur Durchführung eines Programms zur Sicherung der Zuverlässigkeit. Sie können auf einen breiten Bereich von Problemen angewendet werden, die in technischen Systemen auftreten können und können mit wechselnder Analysetiefe durchgeführt werden oder sie können modifiziert werden, um einem besonderen Zweck zu genügen. Die Analyse wird während der Konzeptions-, Planungs- und Definitionsphase in eingeschränkter und während der Entwurfs- und Entwicklungsphase in breiterer Weise durchgeführt. Es wird jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass FMEA nur ein Teil eines Zuverlässigkeitsprogrammes ist, welches vielfältige Aufgaben und Tätigkeiten verlangt. FMEA ist eine induktive Methode der Durchführung einer qualitativen Systemzuverlässigkeit- oder Sicherheitsanalyse von einer niederen zu einer hohen Ebene.

FMEA wird allgemein angewendet, um einzelne Ausfälle und deren Folgen zu analysieren. Die Methode ist nicht anwendbar auf Situationen mit Mehrfach- oder von einander abhängigen Ausfällen.

Vor der Ausführung einer FMEA ist ein umfassendes Verständnis des zu analysierenden Systems wesentlich. Funktionsdiagramme und andere Systemzeichnungen sind üblicherweise für dieses Verständnis notwendig. Zuverlässigkeitsblockdiagramme, Störungsbaum- und Zustandsdiagramme werden dann üblicherweise von diesen abgeleitet, um die Analyse durchzuführen. In vielen Fällen sind die Blockdiagrammbeschreibungen und Blockdiagrammausfallbeschreibungen in dem FMEA-Format enthalten. Separate Diagramme werden für folgendes benötigt:

- a) Der Weg auf dem verschiedene Kriterien für den Systemausfall festgestellt werden;
- b) Funktionsverschlechterung oder verringerte Sicherung der Funktion;
- c) Sicherheit (soweit verschieden von Zuverlässigkeit oder wirtschaftlichem Risiko);
- d) alternative Betriebsphasen.

4.2 Zweck der Analyse

Die Gründe für die Durchführung einer FMEA (oder FMECA) können folgende sein:

- a) Erkennen solcher Ausfälle, die unerwünschte Auswirkungen auf den Systembetrieb haben, z. B. sicherheitskritische Ausfälle;
- b) um vertraglichen Bedingungen zu genügen, nach denen eine FMEA fertig gestellt werden sollte;

^{N1)} Nationale Fußnote: In DIN 25448 mit Ausfalleffektanalyse bezeichnet

^{N2)} Nationale Fußnote: In DIN 25448 mit Ausfallbedeutung bezeichnet; englisch: criticality

- c) soweit angebracht, die Funktionsfähigkeit oder Sicherheit des Systems quantifizieren;
- d) Verbesserungen der Systemfunktionsfähigkeit oder der Sicherheit ermöglichen (z. B. durch Entwurfs- oder Qualitätssicherungsmaßnahmen);
- e) Hilfen für die Fehlzustandsdiagnose erstellen;
- f) Verbesserungen der Instandhaltbarkeit des Systems ermöglichen (durch aufzeigen von Bereichen mit Risiko oder Bereichen in denen die Instandhaltbarkeit nicht gegeben ist).

Ansichts dieser Gründe, können die Ziele einer FMEA (oder FMECA) folgendes einschließen:

- a) ein umfassendes erkennen und beurteilen aller unerwünschten Auswirkungen innerhalb der festgelegten Grenzen des analysierten Systems und das aufeinander folgen von Ereignissen die durch jede erkannte Ausfallart einer Einheit ausgelöst wurde, aus welchem Grund auch immer, in verschiedenen Ebenen der Funktionshierarchie des Systems;
- b) das feststellen der Bedeutung (oder Kritizität, siehe Abschnitt 6) jeder Ausfallart hinsichtlich der korrekten Funktion oder Leistung des Systems und die Wirkung auf die Zuverlässigkeit und die Sicherheit des betreffenden Prozesses
- c) eine Klassifizierung der erkannten Ausfallarten entsprechend relevanter Eigenschaften; hierzu gehören Erkennbarkeit, Diagnosefähigkeit, Prüfbarkeit, Austauschbarkeit von Einheiten, Vorkehrungen für Ersatz und Betreiben (Reparatur, Instandhaltung, Logistik, usw.)
- d) eine Schätzung der Maßgrößen Ausfallbedeutung und Ausfallwahrscheinlichkeit.

ANMERKUNG Dies trifft nur für eine Ausfallbedeutungsanalyse zu (siehe Abschnitt 6).

5 Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)

5.1 Grundlegende Prinzipien der FMEA

Folgende Aufgaben und Darstellungen sind für eine FMEA wesentlich:

- a) Aufspalten des Systems in "Elemente";
- b) ein Diagramm der funktionalen Struktur des Systems erstellen und die für das durchführen der FMEA erforderlichen verschiedenen Daten ermitteln;
- c) darstellen der Ausfallarten (ein Teil kann mehrere Ausfallarten haben oder an einer Ausfallart können mehrere Teile beteiligt sein);
- d) erkennen neuer physikalischer Merkmale oder neuer Anforderungen;
- e) die Konzeption der Ausfallbedeutung und die zu verwendenden Maßgrößen (falls Ausfallbedeutungsanalyse gefordert ist).

Außerdem ist es wesentlich, die bestehenden Verbindungen zwischen der FMEA (und der FMECA) und anderen qualitativen (und quantitativen) Analysemethoden innerhalb des gesamten Zuverlässigkeitsprogrammes festzulegen.

Sehr wenige Entwürfe sind gänzlich neu. Viele sind teilweise Weiterentwicklungen früherer Entwürfe. FMEA sollte die Information von existierenden Systemen verwenden und die Aufmerksamkeit auf die Notwendigkeit von Prüfungen, usw. der neuen Teile lenken.

5.2 Verfahren

5.2.1 Allgemeines

Die große Bandbreite in der Komplexität von Systementwürfen und Anwendungen kann die Entwicklung sehr individualisierter FMEA-Verfahren in Übereinstimmung mit der verfügbaren Information erfordern.

Traditionell gab es große Bandbreiten in der Art wie FMEA durchgeführt und dargestellt wird. Die Analyse wird jedoch üblicherweise in einer standardisierten Weise getan und auf einem Arbeitsblatt dargestellt, welches einen Kern wesentlicher Information enthält, die entwickelt und ausgeweitet werden können, um

dem gegebenen System oder Projekt, auf welches sie angewendet werden, zu genügen. Ein typisches Beispiel eines Arbeitsblattes ist in Bild 1 gezeigt. Das Verfahren besteht aus den folgenden vier Hauptstufen:

- a) vorbereitende Definition des Systems unter Berücksichtigung der Anforderungen an Entwurf, Funktion, Betrieb, Instandhaltung und Umwelt;
- b) aufstellen der grundlegenden Prinzipien und Zwecke der FMEA und festlegen der Darstellungsform;
- c) durchführen der FMEA unter Verwendung eines geeigneten Arbeitsblattes das entsprechend a) und b) gestaltet wurde;
- d) über die gesamte Analyse einschließlich Schlussfolgerungen und Empfehlungen berichten.

5.2.2 Vorbereitung

Zu Beginn einer Analyse sollten die folgenden Vorbereitung getroffen werden.

- a) Der Analyst sollte die in 5.3.2 aufgeführten Information, durch die das zu analysierende System klar definiert wird, verfügbar haben.
- b) Üblicherweise wird es erforderlich sein, dass der Analyst diese Information in geeignete funktionale, hierarchische Diagramme oder in Zuverlässigkeitsblockdiagramme übersetzt. In IEC 61078 wird zum konstruieren von Zuverlässigkeitsblockdiagrammen angeleitet. Solch eine Darstellung des Systems sollte ausdrücklich die funktionale Struktur des Systems, die Systemgrenzen und die Eingaben und Ausgaben über diese Grenzen hinweg kennzeichnen. Weitere Information hierzu in 5.3.2.10.

5.2.3 FMEA-Prinzipien

Die folgenden Prinzipien sollten angewendet werden.

- a) die Zwecke und Verwendungen der FMEA klar definieren.
- b) aufstellen und definieren der Beziehungen mit anderen Formen der Zuverlässigkeitsanalyse mit denen die FMEA anschließend integriert werden könnte.
- c) den Anwendungsbereich der FMEA in Bezug auf die funktionale und hierarchische Struktur des Systems definieren; beschrieben durch die in 5.3.2.10 angezogenen Blockdiagramme. Es ist wesentlich, die unterste Ebene der hierarchischen Struktur des Systems zu definieren bei der die Analyse beginnen wird. Die in 5.3.2 gegebene Anleitung ist für diese Aufgabe besonders wichtig.
- d) Das Format des FMEA-Arbeitsblattes so definieren, dass es den Projektanforderungen genügt. Für eine FMEA während der Entwicklungsphase sind die als wesentlich erachteten Kerninformationen:
 - 1) der Name der Einheit in dem analysierten System;
 - 2) die von der Einheit auszuführende Funktion;
 - 3) Kennzeichnungsnummer der Einheit;
 - 4) Ausfallarten der Einheit;
 - 5) Ausfallursachen;
 - 6) Auswirkungen von Ausfällen auf das System;
 - 7) Methoden der Erkennung von Ausfällen;
 - 8) Ersatzvorkehrungen;
 - 9) Schwere der Auswirkungen;
 - 10) Bemerkungen.

Für die besonderen System- und Projektbedürfnisse erforderliche weitere Informationen müssen von dem Analysten entsprechend der Zwecken der FMEA definiert werden.

Unterebene: Blatt-Nr.: Betriebsart:				Entworfen von: Einheit: Ausgabe:				Erarbeitet von: Angenommen von: Datum:				FMEA	
Einheit Ref.	Funktionsbeschrei- bung der Einheit	Ausfallcode	Ausfall- art	Mögliche Ausfall- ursachen	Symptom erkannt durch	Lokale Auswir- kung	Auswirkung auf die Ausgabe der Einheit	Vorkehrungen zur Ausfallver- meidung	Schwere- klasse	Ausfall- rate (10 ⁻⁶ /h)	Daten- quelle	Empfehlungen und ergriffene Maßnahmen	

Bild 1 – Beispiel für ein Format eines FMEA-Arbeitsblattes

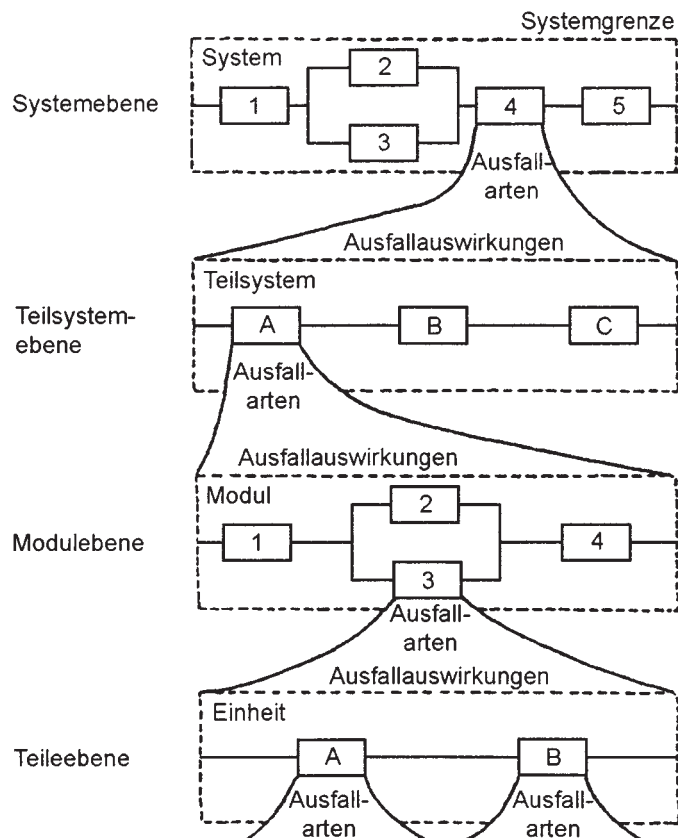


Bild 2 – Beziehung zwischen Ausfallarten und Ausfallwirkungen in einer Systemhierarchie

5.2.4 Analyse

5.2.4.1 Einstufige Analyse

Übliche Aufgabe und der Zweck einer FMEA ist es, die Auswirkung *aller* Ausfallarten *aller* zugehörigen Einheiten in der niedrigsten Systemebene zu ermitteln. Um dies zu erreichen, sollte das Arbeitsblatt in der folgenden Weise verwendet werden:

- ermittle alle Einheiten des Systems oder Teilsystems, deren Ausfallarten und Auswirkungen analysiert werden soll. Der Vorgang des Kennzeichnens nach Name und Nummer sollte dergestalt sein, dass keine Einheiten ausgelassen werden.
- wähle die erste zu analysierende Einheit aus und trage den Namen und die Kennzeichnungsnummer dieser Einheit in die entsprechende Spalte des Arbeitsblattes ein. Bestimme die Funktion dieser Einheit in dem System und trage diese in das Arbeitsblatt ein.
- erkenne alle möglichen Ausfallarten dieser Einheit aufgrund aller möglichen Ursachen und trage einzeln diese Arten in das Arbeitsblatt ein. (Ausfallarten werden in 5.3.1.2 behandelt)
- postuliere für jede Ausfallart der Einheit die wahrscheinlichsten Ausfallursachen und trage diese in das Arbeitsblatt ein.
- Üblicherweise wird es nicht möglich sein, alle möglichen Ursachen zu behandeln, weil das Ausmaß so breit ist, aber die wichtigsten Ursachen in Bezug auf die Einheit, die Ausfallart und die Anwendung sollten ermittelt werden.
- leite die Auswirkungen des Ausfalls auf das Teilsystem und System ab, wie durch den in Übereinstimmung mit 5.2.3 festgelegten Anwendungsbereich der FMEA bestimmt.
- vervollständige die restlichen Spalten des Arbeitsblattes für die erste Ausfallart der ersten Einheit.
- wiederhole c) bis f) für alle anderen Ausfallarten der ersten Einheit.

- i) wiederhole b) bis g) für alle anderen Einheiten.

5.2.4.2 Mehrstufige Analyse

Soll die FMEA stufenweise durchgeführt werden, wobei sich jede Stufe auf unterschiedliche Ebenen der hierarchischen Struktur des Systems bezieht, werden die Ausfallauswirkungen aus der unteren Ebene die Ausfallarten der nächst höheren Ebene. Diese Form umfassender FMEA für große Systeme wird in 7.2.2 empfohlen. Die Analyse sollte dann wie folgt ablaufen.

- a) ermitteln derjenigen FMEA aus der unteren Ebene, die für die nächste Stufe in der System-FMEA geeignet sind entsprechend der hierarchischen Struktur des Systems, wie sie durch die Block- oder funktionalen Diagramme (siehe 5.2.2 b) definiert wurde. Wo es angebracht erscheint, auch solche Einheiten mit aufnehmen, die als zu der untersten Ebene in diesem Teil der Systemstruktur zugehörig festgelegt werden.
- b) durchführen der FMEA für jeden Ausfall jeder Einheit in dieser höheren Ebene der Systemstruktur, wie in 5.2.4.1 b) bis h) vorgegeben.
- c) wiederhole die vorstehenden Schritte a) und b) für alle weiteren höheren Ebenen der Systemstruktur.

5.2.4.3 Bemerkungen im Arbeitsblatt

Der letzte Eintrag im Arbeitsblatt sollte zur Erläuterung anderer Einträge gehörige Bemerkungen enthalten. Mögliche zukünftige Maßnahmen wie etwa Empfehlungen zur Verbesserung des Entwurfs können aufgeschrieben und dann im Bericht weiter ausgeführt werden. Diese Spalte kann ebenfalls folgendes enthalten:

- a) ungewöhnliche Bedingungen;
- b) Auswirkungen von Ausfällen redundanter Elemente;
- c) erkennen von besonders kritischen Entwurfsmerkmalen;
- d) Bemerkungen zur Erweiterung des Eintrages;
- e) Verweisungen auf andere Einträge zur sequentiellen Ausfallanalyse;
- f) wichtige Anforderungen an die Instandhaltung;
- g) dominante Ausfallursachen;
- h) dominante Ausfallauswirkungen;
- i) gefällte Entscheidungen, z. B. während der Bewertung der Entwicklung (engl. design review).

5.2.4.4 Analysebericht

Der Bericht über die FMEA (oder FMECA) kann in eine größere Studie aufgenommen werden oder auch für sich alleine bestehen. In beiden Fällen sollte der Bericht eine Zusammenfassung und eine detaillierte Darstellung der Analyse und die Block- und funktionalen Diagramme, durch die die Systemstruktur definiert ist, enthalten. Der Bericht sollte auch eine Liste der Zeichnungen (mit Ausgabestatus) enthalten, auf der die FMEA beruht.

5.3 Zusatzinformationen

5.3.1 Aufstellen von Grundregeln

5.3.1.1 Analyseebenen

Es ist wichtig, die in dem System zu analysierende Ebene festzulegen. Systeme können beispielsweise in Teilsysteme, austauschbare Teile oder einzelne Komponenten (siehe Bild 2) aufgespalten werden. Grundregeln für die Wahl der Systemebenen für die Analyse hängen von den gewünschten Ergebnissen und von der Verfügbarkeit von Informationen über den Entwurf ab. Die folgenden Leitlinien sind hilfreich.

- a) Die höchste Ebene in dem System wird unter Beachtung der Entwurfskonzeption und der festgelegten Ausgabe gewählt.
- b) Die niedrigste Ebene in dem System bei der die Analyse effektiv ist, ist diejenige Ebene, für die Information zum aufstellen von Definition und Beschreibung der Funktionen verfügbar ist. Die Wahl der geeigneten Systemebene wird durch frühere Erfahrung beeinflusst. Eine weniger detaillierte Analyse kann für ein System gerechtfertigt sein, welches auf einem ausgereiften Entwurf basiert und für das bereits gute Betriebserfahrungen mit Funktionsfähigkeit, Instandhaltung und Sicherheit vorliegen. Umgekehrt sind mehr Details und eine entsprechend niedrigere Systemebene angezeigt für ein neu entworfenes System oder ein System mit unbekannter Geschichte seiner Zuverlässigkeit.
- c) Die festgelegte oder beabsichtigte Instandhaltungs- und Reparaturobene kann eine wertvolle Anleitung beim feststellen der niedrigeren Systemebenen sein.

5.3.1.2 Ausfallarten

Ein erfolgreicher Betrieb eines gegebenen Systems hängt von der Leistung gewisser kritischer Systemelemente ab. Der Schlüssel zur Beurteilung der Systemleistung ist das erkennen kritischer Elemente. Die Verfahren für das erkennen von Ausfallarten, deren Ursachen und Auswirkungen können wirksam vertieft werden durch die Vorbereitung einer Liste der erwarteten Ausfallarten im Lichte folgender Punkte:

- a) der Einsatz des Systems;
- b) das jeweilig beteiligte Systemelement;
- c) die Betriebsart;
- d) die zugehörigen Festlegungen für den Betrieb;
- e) die zeitlichen Einschränkungen;
- f) die Umgebung.

In der FMEA hängen die Definitionen von Ausfallarten, Ausfallursachen und Ausfallauswirkungen von der Analyseebene ab. Mit fortschreitender Analyse können die in der niedrigeren Ebene erkannten Ausfallauswirkungen die Ausfallarten in der höheren Ebene werden. In ähnlicher Weise können die Ausfallarten der niedrigeren Ebene die Ausfallursachen in der höheren Ebene werden und so weiter. Eine Liste allgemeiner Ausfallarten ist in Tabelle 1 enthalten.

Tabelle 1 – Beispiel allgemeiner Ausfallarten

1	Ausfall während des Betriebs
2	Kein Betrieb zu vorgegebener Zeit
3	Betrieb wird zu vorgegebener Zeit nicht beendet
4	Vorzeitiger Betrieb
ANMERKUNG Diese Liste ist nur ein Beispiel. Unterschiedliche Listen sind für unterschiedliche Systemarten erforderlich.	

Beinahe jede Ausfallart kann in eine oder mehrere dieser Kategorien eingeteilt werden. Diese allgemeinen Ausfallartenkategorien sind jedoch für eine abschließende Analyse zu grob; folglich muss die Liste erweitert werden, um die Kategorien zutreffender zu machen; siehe Tabelle 2. Ausfallarten wie die in Tabelle 2 aufgeführten können den Ausfall jedes Systemelements ausreichend zutreffend bezeichnen. Wenn diese in Verbindung mit Leistungsangaben zu den Eingängen und Ausgängen im Zuverlässigkeitsblockdiagramm verwendet werden, können alle potentiellen Ausfallarten erkannt und beschrieben werden. Es wird darauf hingewiesen, dass eine gegebene Ausfallart mehrere Ursachen haben kann.

Es ist wichtig, dass eine Beurteilung aller Einheiten innerhalb der Systemgrenzen in der niedrigsten praktikablen Ebene gemacht wird, um alle potentiellen Ausfallarten zu erkennen. Untersuchungen zum ermitteln möglicher Ausfallursachen und auch Ausfallauswirkungen auf die Funktion des Teilsystems und des Systems können dann unternommen werden.