

FMEA und FMECA in der Praxis

Die Vorgehensweise bei einer Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA) sowie Erfahrungen beim Einsatz der Methodik in den verschiedenen Anwendungsbereichen

Klaus Kühnert, 14.03.2022

Abstrakt

Jede Produktentwicklung oder jede Prozessplanung verlangen auch die Auseinandersetzung mit möglichen Fehlern der Konzeption sowie mit deren Auswirkungen. Die Methode FMEA/FMECA bildet das geeignete Verfahren für den Einstieg in eine systematische Analyse von Produkten und Prozessen.

Ziele von FMEA und FMECA sind die Bestimmung von Produktfunktionen bzw. Prozessschritten und die Identifikation der damit verbundenen möglichen Fehler, deren Ursachen und Folgen sowie die Ermittlung und Beurteilung des zugehörigen Risikos einschließlich der Ableitung von Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen zur Risikominimierung.

1. Was sind die Ursprünge und was bedeuten die Abkürzungen FMEA und FMECA?

Die Abkürzung FMEA ist abgeleitet von der englischen Bezeichnung des Verfahrens: „Failure Mode and Effects Analysis“ und wurde so erstmalig im Jahr 1949 im militärischen Standard MIL-STD 1629 „Procedures for performing a Failure mode, Effects, and Criticality Analysis“ verwendet. Die FMEA ist nach diesem ursprünglichen Standard nur eine Teilaufgabe (Task 101) im gesamten FMECA-Prozess und wird mit einer Kritizitäts-Analyse (Task 102), einer Instandhaltbarkeitsuntersuchung

(Task 103) und einer Schadensanalyse (Task 104) ergänzt.

Der MIL-STD 1629 und die Nachfolgeversion MIL-STD 1629A [1] sind als militärischer Standard nicht mehr gültig, werden außerhalb des Militärwesens aber noch häufig verwendet und referenziert.

Die Herangehensweise stellte sich schnell als erfolgreich heraus und fand in den 1960er Jahren Einzug in die Raumfahrt, in die Luftfahrtindustrie sowie in den Nuklearsektor und in die Lebensmittelindustrie. Nach einer verstärkten Nutzung in der Automobilindustrie ab Anfang der 1980er Jahre haben auch andere Branchen die Zweckmäßigkeit der Methode erkannt und setzen diese immer häufiger systematisch ein, begleitet von einer allgemeinen Standardisierung des Verfahrens.

Mit „Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse“ hat man versucht, einen geeigneten deutschsprachigen Begriff für die Abkürzung FMEA zu finden. Diese Bezeichnung wird so vorrangig in der Automobilindustrie verwendet. Aktuelle Norm ist hier das FMEA-Handbuch von AIAG¹&VDA² (2019) [3].

Bei der Schreibweise des Begriffes gibt es abweichende Formen:

- Die Deutsche Gesellschaft für Qualität benutzt „Fehlermöglichkeiten- und Einflussanalyse“.

¹ AIAG – Automotive Industry Action Group

² VDA – Verband der Automobilindustrie

- Die alte deutsche FMEA-Norm DIN 25448 bezeichnete das Verfahren als „Ausfalleffektanalyse“,
- die aktuell gültige DIN EN 60812 [2] nennt das Verfahren „Fehlzustandsart und -auswirkungsanalyse“.

Für den Begriff FMECA kommen die deutschen Bezeichnungen „Fehler-Möglichkeiten-, Einfluss und Kritizitäts-Analyse“ oder „Ausfallbedeutungsanalyse“ (nach DIN EN 60812 [2]) zur Anwendung.

2. Welche verschiedenen Arten der FMEA-Methodik kommen zur Anwendung?

Es werden zwei grundlegende FMEA-Ansätze unterschieden: die Analyse von Produktfunktionen mittels einer Design-FMEA (DFMEA) und die Analyse von Prozessschritten mittels einer Prozess-FMEA (PFMEA). Daneben hat sich mit der FMEA-MSR die Analyse von betrieblichen Systemfehlern herauskristallisiert.

Design-FMEA (DFMEA)

Mit der Design-FMEA wird das Ziel verfolgt, Fehler in der Entwicklung von vornherein zu vermeiden, anstatt sie erst nachträglich zu entdecken und zu korrigieren. Diese Methode wird im Rahmen von Entwicklung, Konstruktion und Planung eingesetzt, um sicherzustellen, dass vor Freigabe eines Bauteils oder eines Teilsystems für die Herstellung alle potenziellen Fehlerarten sowie die zugehörigen Fehlerursachen und möglichen Fehlerfolgen weitestgehend betrachtet und behandelt wurden.

Die Design-FMEA untersucht das Zusammenwirken von Teilsystemen in einem übergeordneten Gesamtsystem. Sie zielt auf die Identifikation potenzieller Schwachstellen an den Teilsystemen, Komponenten und an den Schnittstellen ab, welche sich durch das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten ergeben.

In Abhängigkeit der Risikobewertung resultieren Maßnahmen, die z. B. Konstruktionsänderungen, zusätzliche Prüfungen und Anwendungseinschrän-

kungen zur Folge haben können und damit die Reduzierung des Fehlerrisikos oder die Entdeckbarkeit von Fehlern im Entwicklungsprozess unterstützen.

Prozess-FMEA (PFMEA)

Die Prozess-FMEA untersucht primär mögliche Fehler während des Herstellungsprozesses, bei der Montage oder im Rahmen von logistischen Prozessen, damit die Produkte so angefertigt werden, dass sie den Konstruktionsvorgaben entsprechen. Die prozessbezogenen Fehler unterscheiden sich von den mit der DFMEA untersuchten Fehlern und resultieren vordergründig aus Fehlern der beteiligten Personen, Maschinen, Materialien oder aus nicht berücksichtigten Einflüssen des Produktionsumfeldes.

Im Ergebnis der Risikobewertung der Prozess-FMEA werden Prioritäten für Vermeidungs- und Verbesserungsmaßnahmen festgelegt, damit noch vor Produktionsbeginn unerwünschte Fehler bei der Herstellung und Montage sowie deren Auswirkungen vermieden werden können.

FMEA-MSR

Ergänzend zu DFMEA und PFMEA werden mit der FMEA-MSR (Monitoring und Systemreaktion) potentielle Fehlerursachen aus dem Betrieb der Systeme hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das System, auf Personen und gesetzliche Vorschriften analysiert. Damit erfolgt eine Bewertung der Systemreaktionen zur Risikominderung infolge eines Monitorings.

Die Betrachtungen zur FMEA-MSR lassen sich in der Regel in geeigneter Weise in eine DFMEA integrieren.

Weitere FMEA-Ansätze

Mit einer FMEA können ebenso zufällige Fehler (im Gegensatz zu systematischen Fehlern) untersucht werden. Ergänzt um die Angaben von Ausfallraten können solche FMEA's beispielsweise zum theoretischen Nachweis von Verfügbarkeitsanforderungen herangezogen werden.

Grundsätzlich sollte zu Beginn der FMEA geklärt werden, ob a) systematische Fehler vorgebeugt oder b) zu erwartende zufällige Fehler erfasst werden sollen. So wird der Zweck der FMEA ersichtlich und die Analyse kann zielgerichteter und effizienter durchgeführt werden.

3. Wie läuft das FMEA-Verfahren generell ab? Ein kurzer Überblick

Die klassische FMEA stellt ein bewährtes entwicklungs- und planungsbegleitendes Risikoanalyseverfahren der RAMS³-Methodik dar, die in einem Produktentstehungsprozess möglichst frühzeitig Fehler und Fehlerursachen erkennen soll welche zu sicherheits- und zuverlässigkeitsrelevanten Folgen führen können. Die Festlegung von Maßnahmen infolge der Risikobewertung soll hohe resultierende Risiken abschwächen oder ganz ausschließen.

Anwendungsgebiete für die FMEA erstrecken sich von der speziellen Einzelanfertigung über den Kleinserienbau bis hin zur Serienproduktion sowie hinein in die Verfahrenstechnik und in den Dienstleistungsbereich.

Aufgrund der anschaulichen und nachvollziehbaren Vorgehensweise lässt sich das Standard-FMEA-Verfahren aber auch für viele spezielle Aufgaben nutzen und entsprechend adaptieren.

Das allgemeine Vorgehen gliedert sich in mehrere Arbeitsschritte, wobei die Gliederung nach dem AIAG/VDA-FMEA-Handbuch [3] als eine der bestgeeignetsten Beschreibungen angesehen wird:

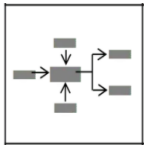
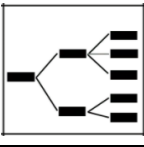
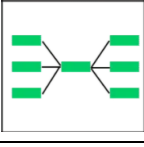
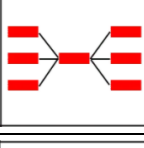
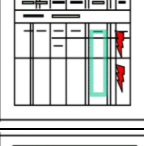
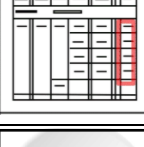
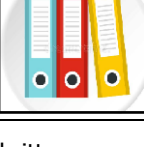
Schritt		Inhalte	
1	Planung und Vorbereitung		Planung und Vorbereitung
2	Strukturanalyse		
3	Funktionsanalyse		
4	Fehleranalyse		Fehleranalyse
5	Risikoanalyse		Risikoreduzierung und
6	Optimierung		
7	Ergebnisdokumentation		Kommunikation

Abbildung 1: FMEA-Arbeitsschritte

4. Was ist bei der Erstellung einer FMEA zu beachten

Die nachfolgenden Empfehlungen orientieren sich an den oben aufgeführten sieben FMEA-Arbeitsschritten.

Schritt 1: Planung und Vorbereitung

Die Abschätzung des Aufwandes für die FMEA lässt sich im Allgemeinen nur sehr schwer vorhersagen. Hilfreich für eine Prognose sind vielfältige Erfahrungen mit einer ganzen Reihe ähnlicher Analysen. Entscheidend ist weniger die Größe des

³ Reliability, Availability, Maintainability, Safety = Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit

Betrachtungsgegenstandes. In erster Linie beeinflussen die Komplexität des zu analysierenden Systems und die Vorgaben aus der übergeordneten Projektplanung (z.B. Anzahl geplante Abgaben bzw. Meilensteine) den Analyseaufwand.

Die Zusammensetzung des FMEA-Teams soll sich an der Zielstellung der jeweiligen Analyse orientieren. Für die umfassende Untersuchung eines Produkts oder eines Prozesses muss sich die FMEA auf das Expertenwissen möglichst aller an der Produktentwicklung oder Prozessgestaltung beteiligten Personen stützen. Dabei ist es aber nicht erforderlich, alle Experten zu jeder FMEA-Teamsitzung hinzuzuziehen. Denn das führt im Allgemeinen nicht zu einem effektiven und effizienten Vorgehen.

Ein FMEA-Team sollte sich aus einem Kernteam und einem Expertenteam zusammensetzen. Das Kernteam sollte so klein wie möglich, aber so groß wie nötig gewählt werden. Dazu zählen neben dem verantwortlichen Teamleiter (leitender Konstruktions- oder Prozessingenieur) der Moderator (Methodenspezialist) und die hauptverantwortlichen Mitarbeiter. Die übrigen Mitglieder des Expertenteams werden nur dann in die Analyse eingebunden, wenn die speziellen Fachthemen in deren Verantwortungsbereich auf der Tagesordnung stehen.

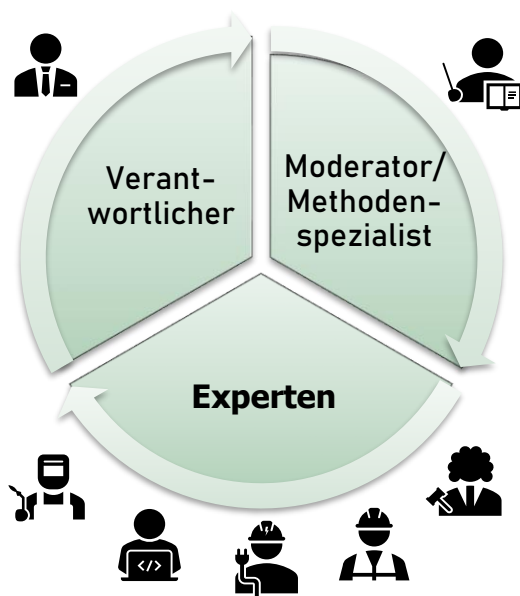


Abbildung 2: FMEA-Team-Zusammensetzung

Bei einer DFMEA wird das Kernteam vorrangig von den verantwortlichen Mitarbeitern aus der Entwicklung und dem Versuch ergänzt. Das Expertenteam setzt sich aus Mitarbeitern der Qualitätssicherung, der Prozessplanung und Arbeitsvorbereitung, des Einkaufs und des Service zusammen.

Bei einer PFMEA werden in das Kernteam in der Regel die verantwortlichen Mitarbeiter aus Prozessplanung und Arbeitsvorbereitung sowie aus Qualitätssicherung eingebunden. Mitarbeiter aus der Entwicklung, aus dem Versuch und aus dem Service bilden das ergänzende Expertenteam.

Die FMEA-Praxis zeigt, dass die Effektivität einer FMEA sowie die Akzeptanz und das Engagement bei den beteiligten Fachleuten deutlich gesteigert wird, wenn die FMEA-Moderation durch einen externen Moderator erfolgt, der von einem anderen Unternehmensbereich oder von einem externen Dienstleister zur Verfügung gestellt wird.

Zur Vorbereitung der Analyse gehört auch die Beschaffung von Arbeitsunterlagen, wie:

- projektspezifische Terminpläne,
- Spezifikationen,
- Stücklisten bzw. Fertigungspläne,
- Modelle,
- Qualitätsvorgaben,
- Arbeitsanweisungen,
- Sicherheitsvorschriften,
- Verordnungen und Normen.

Und nicht zuletzt gilt es im Rahmen der Vorbereitung zu klären, in welchem Raum und mit welchen Arbeitsmitteln (Beamer, Flipchart, Wandtafel, Software) die FMEA durchgeführt werden soll.

Erfahrungen zeigen, dass sich FMEA-Sitzungen auch per Webmeeting erfolgreich umsetzen lassen. Damit kann in vielen Fällen der Reiseaufwand für die Mitglieder des FMEA-Teams reduziert werden, entfernt ansässige Experten lassen sich bequem in die Diskussionen mit einbinden und letztlich ist auf diese Art und Weise eine

deutliche Reduzierung des Gesamtaufwandes möglich. Zudem ist damit auch die Voraussetzung für die Gliederung der Analyse in mehrere überschaubare Etappen gegeben. Zweckmäßig für die Dauer eines FMEA-Meetings sind maximal 4 Stunden. Müssen die FMEA-Moderatoren und -Experten extra zu einer Präsenzveranstaltung anreisen, wird häufig im Sinne der Minimierung des Reiseaufwandes versucht, die einzelnen Meetings ganztägig auszudehnen und oft auch noch die Analyse an direkt aufeinanderfolgenden Tagen fortzusetzen, um sie möglichst zügig abschließen zu können. Erkenntnisse aus der langjährigen Praxis lassen jedoch erkennen, dass ein solches Vorgehen in der Regel nicht zielführend ist. Eine FMEA kann nur dann wirklich umfassend sein und zu geeigneten Risikominderungsmaßnahmen führen, wenn den Teammitgliedern auch genügend Freiraum zur Verfügung steht, um die Ergebnisse der einzelnen Analyseschritte zu reflektieren. Daher ist zu empfehlen, zwischen den einzelnen FMEA-Sitzungen im besten Fall mehrere Tage Pause einzuplanen. Wenn die FMEA nicht nur zum Selbstzweck erfolgt oder durchgeführt wird, um einer diesbezüglichen Kundenanforderung gerecht zu werden, sondern wenn sie tatsächlich den Entwicklungsprozess ab einer frühen Phase kontinuierlich begleiten soll, dann ist die schrittweise Fortschreibung der Analyse mit entsprechenden freien Zeiten zwangsläufig gegeben.

Die Ergebnisse aller Analyseschritte sind in FMEA-Formblättern zu dokumentieren, die im einfachsten Fall Tabellen mit gesonderten Spalten für die nachfolgend erläuterten Angaben darstellen.

Ein anwendbares FMEA-Formblatt bieten wir zum Download an: https://www.izp.de/wp-content/uploads/2022/04/FMEA_Formblatt_IZP.zip.

Schritt 2: Strukturanalyse

Ausgangspunkt der systematischen FMEA-Betrachtung ist eine hierarchische Gliederung des Betrachtungsgegenstandes.

Bei einer DFMEA sollten dabei Unterteilungen zur Anwendung kommen, welche die strukturellen Zusammenhänge der einzelnen Systemelemente vom Gesamtsystem über die Subsysteme, Komponenten und Teilkomponenten bis hin zur Merkmalsebene abbilden.

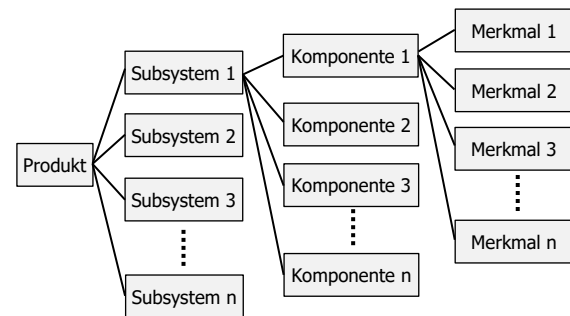


Abbildung 3: Allgemeine FMEA-Systemstrukturierung

Der Detaillierungsgrad für die Systemstruktur, also bis zu welcher Ebene das Gesamtsystem heruntergebrochen werden soll, ist von verschiedenen Faktoren abhängig und kann nicht pauschal vorgegeben werden. Entscheidend ist, dass sich Ursachen und daraus abgeleitete Maßnahmen für bestimmte, nicht akzeptable Risiken im weiteren Verlauf der FMEA eindeutig zuordnen lassen. Eventuell muss in den nachfolgenden Arbeitsschritten noch eine Anpassung der ursprünglichen Strukturierung vorgenommen werden. Entscheidend ist, dass jedes Systemelement in einer FMEA-Systemstruktur nur einmal erscheinen darf.

Im Rahmen einer PFMEA wird die Strukturierung im Allgemeinen durch chronologische Abfolge der Arbeitsschritte des zu analysierenden Prozesses vorgegeben. Zu jedem Arbeitsschritt sind mittels der „4-M-Methode“ die relevanten Elemente aus den Kategorien Mensch, Maschine, Material und Mitwelt zuzuordnen. Die drei weiteren Kategorien Management, Messbarkeit und Methode, die üblicherweise nach dem Ishikawa-Prinzip zu diesem Vorgehen noch hinzugezählt werden, spielen für die PFMEA in der Regel keine Rolle, weil sie durch die im Rahmen der FMEA abzuleitenden Maßnahmen zur

Risikominderung nicht ohne weiteres beeinflusst werden können.

Schritt 3: Funktionsanalyse

Aufbauend auf der Systemstruktur aus Schritt 2 gilt es im nächsten Schritt, alle relevanten Funktionen für die ermittelten Systembestandteile abzuleiten. Jedes Element erfüllt mindestens eine Funktion, sonst wäre es für das betreffende System nicht relevant. In vielen Fällen werden es auch mehrere verschiedene Funktionen für ein Element sein. Die Funktionen sollen dabei alle in den Systemspezifikationen definierten Anforderungen abbilden.

Die Beschreibung einer Funktion sollte jeweils mit einem kurzen Satz (Subjekt und Prädikat im Präsens) erfolgen, z. B.:

- **Geschwindigkeit regeln.**
- **Gehäuse abdichten.**
- **Wärme übertragen.**
- **Bei Überdruck öffnen.**
- **Elektrische Energie in mechanische Energie gemäß Parametervorgabe umwandeln.**

Auf den oberen Systemebenen wird die Formulierung der Funktionen in der Regel allgemeingültiger erfolgen, auf den unteren Ebenen kommen detailliertere Beschreibungen zur Anwendung.

Erfolgt die Systemstrukturierung bis zur Merkmalebene, dann sind die Merkmale üblicherweise nicht mit einem Satz zu beschreiben, sondern stellen die Angabe von mess- bzw. prüfbaren Größen dar, wie Geometrie, Material, Oberflächenbeschaffenheit, Beschichtungen u. ä.:

- **Betriebstemperatur = 95°C ± 5°C.**
- **Material = Stahl.**
- **Breite = 50 cm ± 1 mm.**
- **Anzugsdrehmoment = 90 Nm.**

Die Verknüpfung der Merkmale und Funktionen von der untersten Ebene über die Zwischenebenen bis hin zur obersten Hierarchieebene führt zu den sogenannten Funktionsnetzen. Für jede TOP-Funktion entsteht auf diese Weise ein gesondertes Funktionsnetz, das die Abhängigkeiten der Funktionen der einzelnen Systemelemente

darstellt. Diese Funktionsverknüpfung gestattet gleichzeitig eine Vollständigkeitsprüfung dahingehend, ob bei dem einen oder anderen Element noch bestimmte Teilfunktionen nicht zugeordnet oder eventuell ganz vergessen wurden.

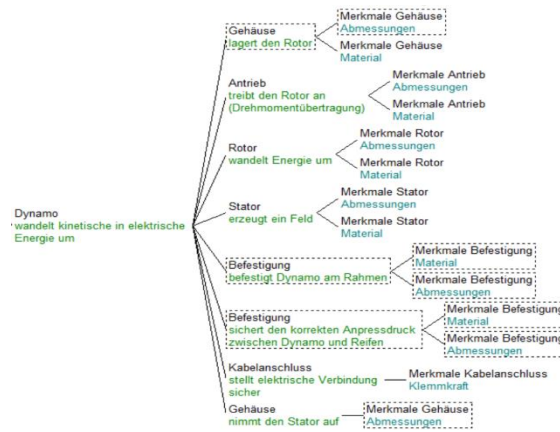


Abbildung 4: Ausschnitt aus dem FMEA-Funktionsnetz für eine Fahrradbeleuchtung

Bei einer PFMEA bzw. bei einer FMEA-MSR ist die Verknüpfung der Funktionen bzw. Merkmale in ähnlicher Art und Weise vorzunehmen.

Funktionsnetze lassen sich sehr gut mit entsprechender FMEA-Software (z. B. APIS IQ-FMEA) erstellen. Hat man keine entsprechende Software zur Hand, kann man die funktionalen Abhängigkeiten auch mit einer händischen Zeichnung veranschaulichen.

Schritt 4: Fehleranalyse

Auf Grundlage der Funktionsanalyse erfolgt die eigentliche Untersuchung der Fehlermöglichkeiten. Einfachstes Mittel zum Auffinden möglicher Fehler ist die Negation der definierten Funktionen. Oft ist diese simple Ableitung von sogenannten Fehlfunktionen aber nicht ausreichend. Immer dann, wenn aus Fehlfunktionen verschiedenartig zu bewertende Folgen resultieren können, muss eine Differenzierung dieser Fehlfunktionen erfolgen, so dass sich aus einer Funktion mehrere Fehlfunktionen ableiten:

- **Betriebstemperatur = 95°C ± 5°C.**
 - o **Betriebstemperatur ist zu hoch.**
 - o **Betriebstemperatur ist zu niedrig.**

- **Material = Stahl.**
 - o falsches Material.
- **Bei Überdruck öffnen.**
 - o Öffnet nicht.
 - o Öffnet nicht komplett.
- **Elektrische Energie in mechanische Energie gemäß Parametervorgabe umwandeln.**
 - o Umwandlung erfolgt nicht gemäß Parametervorgabe.
- **Spannung von 220V bereitstellen.**
 - o Spannung ist zu hoch.
 - o Spannung zu klein.
 - o Es liegt keine Spannung an.
 - o Spannung ist nicht konstant.

Eine analoge Verknüpfung der Fehler bzw. Fehlfunktionen wie bei den Funktionsnetzen von der untersten Ebene über die Zwischenebenen bis hin zur obersten Hierarchieebene ergibt die sogenannten Fehlernetze. Für jeden TOP-Fehler entsteht damit ein gesondertes Fehlernetz, welches die Abhängigkeiten der Fehler über der Hierarchie des Gesamtsystems verdeutlicht.

Die Vorgehensweisen bei einer PFMEA bzw. bei einer FMEA-MSR sind analog.

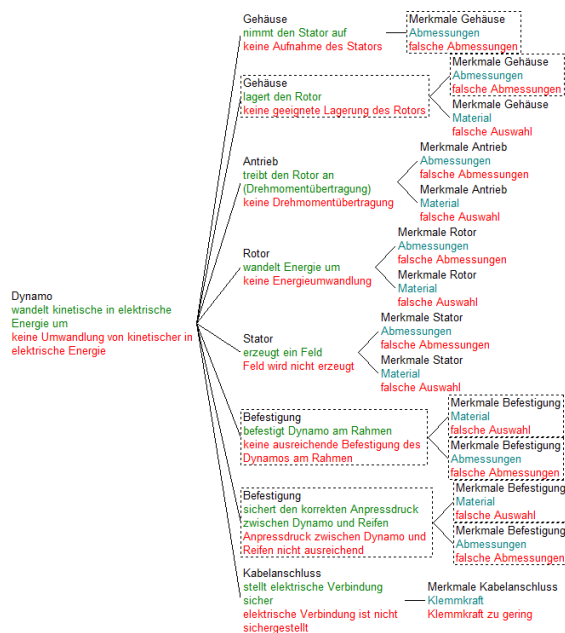


Abbildung 5: Ausschnitt aus dem FMEA-Fehlernetz für eine Fahrradbeleuchtung

Aus den Abhängigkeiten im Fehlernetz ergeben sich weitere Begriffe, die im Zusammenhang mit einer FMEA von Bedeutung sind: Der Fehler bzw. die Fehlfunktion in Bezug auf eine Funktion werden auch als „Fehlerart“ bezeichnet. Alle abhängigen Fehler auf den darunterliegenden Hierarchieebenen heißen „Fehlerursachen“, direkt abhängige Fehler sind „direkte Fehlerursachen“ und die abhängigen Fehler auf der untersten Hierarchieebene sind die „Grundursachen“. In Richtung der übergeordneten Hierarchieebenen werden die abhängigen Fehler „Fehlerfolgen“ genannt. Fehler auf der nächsten Hierarchieebene sind die „direkten Folgen“ und Fehler auf Gesamtsystemebene bilden die „TOP-Folgen“. Diese Zuweisungen sind für die nachfolgende Risikoanalyse von entscheidender Bedeutung.

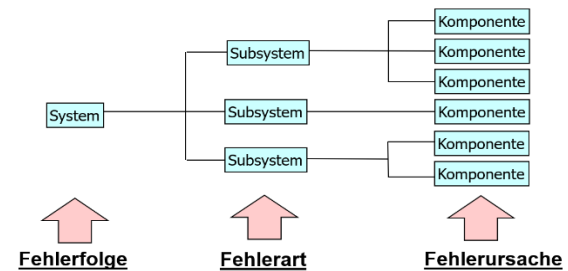


Abbildung 6: Fehlerabhängigkeiten

Fehlernetze können wie Funktionsnetze am einfachsten mit einer geeigneten FMEA-Software erstellt werden. Genauso gut ist die bildliche Darstellung der Abhängigkeiten in einfachen Skizzen möglich. Entscheidend ist nicht die Form und Art der Darstellung, sondern allein die Kenntnis der Zusammenhänge, auf der die nächsten Analyseschritte aufsetzen.

Schritt 5: Risikoanalyse

Ein Risiko besteht generell aus zwei Dimensionen: die Wahrscheinlichkeit bzw. Häufigkeit des Auftretens eines relevanten Ereignisses und die Schwere des Ausmaßes bzw. die Ereignisfolgen. Im Vorfeld einer Risikoanalyse gilt es festzulegen, welche Risiken noch als akzeptabel eingestuft werden können und welche nicht mehr akzeptiert werden, so dass Maßnahmen zur

Risikominderung festzulegen sind. Zwischen akzeptablen und nicht akzeptablen Risiken kann es je nach Anwendungsfall noch verschiedene Abstufungen geben, z. B. tolerable oder unerwünschte Risiken.

Bei der klassischen FMEA wird das mit einer Fehlerkombination verbundene Risiko einer bestimmten Fehlerart aus der Wahrscheinlichkeit des Auftretens A und aus der Entdeckungswahrscheinlichkeit E der Fehlerursache sowie aus der Bedeutung B der Fehlerfolge abgeleitet. Üblich ist, dass die Einschätzungen für diese Größen mit Hilfe von ganzzahligen Bewertungsfaktoren vorgenommen werden, welche jeweils zwischen 1 und 10 liegen. Kleine zahlenmäßige Ausprägungen der Faktoren reflektieren unkritische Bewertungen und größere Ausprägungen verdeutlichen kritischere Einstufungen. Die Bewertung wird in der Regel gemeinsam durch das FMEA-Team vorgenommen, das sich an vorher aufgestellten oder abgeleiteten Bewertungskatalogen orientiert.

Sofern keine anderen Vorgaben existieren, ist zu empfehlen, übergreifende unternehmensspezifische Bewertungskataloge zu definieren und zu verwenden, damit verschiedene FMEA eine gemeinsame Basis besitzen und sich deren Ergebnisse besser miteinander vergleichen lassen.

Das Gesamtrisiko kann verschiedenartig dargestellt werden. Die einfachste Möglichkeit ist die Multiplikation der einzelnen Bewertungsfaktoren zur sogenannten Risikoprioritätszahl (RPZ), die dann zwischen 1 und 1000 liegt. Je höher die RPZ, desto höher wird das jeweilige Risiko angenommen. In diesem Zusammenhang gilt es, Grenzwerte für noch akzeptable RPZ zu definieren bzw. Werte festzulegen, bei deren Überschreitung risikomindernde Maßnahmen erforderlich werden.

Risikomindernde Maßnahmen werden bei der FMEA hinsichtlich Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen unterschieden. Vermeidungsmaßnahmen reduzieren die Auftretenswahrscheinlichkeit einer Fehler-

ursache und Entdeckungsmaßnahmen erhöhen deren Entdeckungswahrscheinlichkeit.

Maßnahmen müssen nicht erst aus der Risikobewertung der FMEA resultieren. In der Verbindung mit den identifizierten Fehlermöglichkeiten können im Rahmen der Produktentwicklung oder Prozessgestaltung bereits eine ganze Reihe von Maßnahmen definiert sein (z. B. die Einhaltung relevanter Normen, die Verwendung von Redundanzen, die Durchführung von Berechnungen, Tests usw.) Solche bereits bekannten Maßnahmen gilt es in den FMEA-Formblättern zur jeweiligen Fehlerkombination festzuhalten, denn diese sind bei der originären Risikobewertung zwingend mit zu berücksichtigen.

Neben der Risikoprioritätszahl lassen sich Risiken auch in einer Risikoakzeptanzmatrix darstellen, in der vorzugsweise die Bereiche für die unterschiedlichen Risikokategorien bereits markiert sind. Weil allerdings die Häufigkeit als Risikodimension in einer FMEA mit den zwei Faktoren A und E charakterisiert wird, muss entweder eine Rechenvorschrift festgelegt werden, die eine Kombination beider Bewertungskategorien ermöglicht oder es werden gesonderte Risikomatrizen für die einzelnen Kombinationen von $B \times A$ und $B \times E$ verwendet.

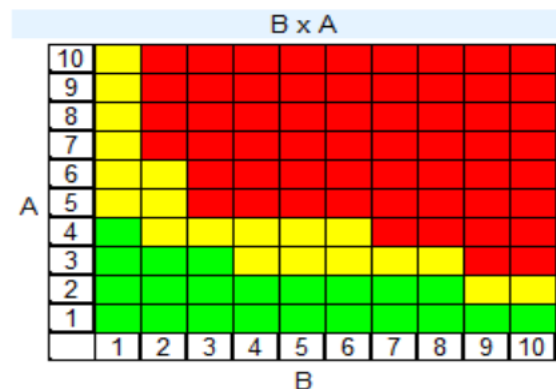


Abbildung 7: Beispiel für eine Risikoakzeptanzmatrix (Bedeutung B x Auftretenswahrscheinlichkeit A)

In der Automobilindustrie hat sich in den letzten Jahren eine weitere Art der Risikoklassifizierung entwickelt: die

sogenannte Aufgabenpriorität. In einer zusätzlichen Tabelle wird allen möglichen Kombinationen der drei Einzelbewertungen B, A und E eine Aufgabenpriorität in den Stufen Niedrig (N), Mittel (M) und Hoch (H) zugeordnet, aus der sich das Optimierungspotenzial für das betrachtete System ableitet. Dabei gilt es zu beachten, dass die Aufgabenpriorität primär nicht der Priorisierung von Risiken, sondern der Priorisierung von Maßnahmen zur Risikoreduzierung dient.

Erst bei der Risikoanalyse macht sich auch der Unterschied zwischen einer FMEA und einer FMECA bemerkbar. Kommen bei der FMEA subjektive Bewertungsfaktoren zur Anwendung, nutzt die FMECA für die Beschreibung der Ereigniswahrscheinlichkeiten den konstanten Wert einer zugehörigen Ausfallrate λ , der aus Referenzbetrachtungen abzuleiten ist. Zusätzlich werden die Anteile der Ausfallrate für die verschiedenen Fehlermodi eines Elements mit einem Faktor α ermittelt, so dass die Summe aller α -Faktoren je Element den Wert 1 ergibt. Ein weiterer Faktor β beschreibt, wie wahrscheinlich der Eintritt der Fehlerfolge bei Auftreten der jeweiligen Fehlerart ist. Für die Bestimmung der sogenannten Kritizitätskennzahl C (nicht gleichzusetzen mit dem Begriff „Kritizität“) werden alle Faktoren dann noch mit der aktiven Betriebszeit der jeweiligen Komponente multipliziert und über alle Fehlerarten eines Elements aufsummiert. Die Kritizitätskennzahl C beschreibt also nur die Dimension der Häufigkeit/ Wahrscheinlichkeit. Erst die Kombination mit der Ereignisschwere ergibt die Kritizität der jeweiligen Fehlerkombination. Die Kritizität lässt sich somit am besten in einer Tabelle analog zu einer Risikoakzeptanz-matrix mit ihren beiden Dimensionen veranschaulichen.

Der FMECA-Ansatz setzt vereinfachend konstante Ausfallraten voraus und arbeitet häufig mit Schätzwerten, weil geeignete Referenzen nur in selten Fällen vorliegen. Insofern beinhaltet die FMECA nur einen geringen Informationsgewinn gegenüber

einer FMEA. Dennoch stellt dieses Vorgehen eine sehr gute Ausgangsbasis für Fehlerbaumbetrachtungen dar, für die hinsichtlich der Eingangsparameter letztlich dieselben Schwierigkeiten gelten. In der Praxis werden im Rahmen einer FMECA häufig noch weitere konstante Parameter verwendet, z. B. Fehlersuchzeiten, Logistikzeiten, Instandsetzungsraten bzw. Reparaturzeiten u. ä., die es gestatten, auch Verfügbarkeitswerte zu berechnen.

Es gibt keine allgemeinen Regeln oder Normen, welche Risikobewertung wann und wie anzuwenden ist. Entweder gibt es diesbezüglich Vorgaben aus Kunden-Lieferanten-Verträgen oder von zuständigen Behörden. Ist das nicht der Fall, haben die Anwender selbst die Möglichkeit, die bestgeeignete Form der Risikobewertung auszuwählen. Diese Auswahl sollte idealerweise im FMEA-Team erfolgen.

Für die Risikoanalyse im Rahmen einer PFMEA oder einer FMEA-MSR können ebenfalls verschiedene Verfahren je nach Anforderung oder Bevorzugung durch das FMEA-Team zur Anwendung kommen.

Schritt 6: Optimierung

Egal, welche Art der Priorisierung von Risiken oder Maßnahmen herangezogen wird, gemein ist dem Vorgehen im FMEA-Schritt 6 die weitere Definition von risikomindernden Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen zumindest für die Risiken, die nicht mehr als akzeptabel eingestuft sind bzw. für mittlere und hohe Aufgabenprioritäten.

Wo diese zusätzlichen Maßnahmen im FMEA-Formblatt einzutragen sind, hängt vom ausgewählten Layout ab. Es gibt Formblätter, die sehen gesonderte Spalten für den sogenannten „verbesserten Zustand“ vor. Ein Nachteil dieses Layouts ist, dass mit solchen Vorlagen nur eine einzige Optimierung ordentlich dokumentiert werden kann. Reichen bestimmte Maßnahmen nicht aus, ein Risiko angemessen zu reduzieren, müssen weitere Maßnahmen festgelegt werden. Diese

können dann zwar auch den bereits festgeschriebenen Verbesserungsmaßnahmen zugeordnet werden, aber ohne zusätzliche Kennzeichnung lässt sich der zeitliche Verlauf der Optimierung in mehreren Etappen aus so einem Formblatt nur noch bedingt nachvollziehen.

Geeigneter erscheinen Formblätter, die Maßnahmen für Verbesserungen zeilenweise untereinander einbinden. So lassen sich beliebig viele Maßnahmenstände dokumentieren und der FMEA-Fortschritt kann auf diese Art im Detail schrittweise nachvollzogen werden.

Wie das zu verwendende Formblatt strukturiert ist, hängt nicht zuletzt auch von möglichen Vorgaben aus Kunden-Lieferanten-Verträgen oder von den zuständigen Behörden ab. Geeignete FMEA-Software gestattet es, die Analyse völlig losgelöst von etwaigen Formatvorgaben durchzuführen und die Analyseresultate bei Bedarf in verschiedene Formblatt-Layouts zu exportieren.

In jedem Fall ist unter Berücksichtigung der Verbesserungsmaßnahmen auch die Risikoanalyse erneut durchzuführen. Aus der neu resultierenden Risikobewertung bzw. für die neu ermittelte Aufgabenpriorität oder Kritizität sollten Verbesserungen gegenüber der ursprünglichen Bewertung erkennbar sein. In manchen Fällen stellt auch allein das Absenken einzelner Bewertungsfaktoren oder die Reduzierung der Ausfallrate schon eine solche Verbesserung dar, die sich in der gesamten Risikobewertung gar nicht niederschlägt.

Die Festlegung von Maßnahmen muss auch immer mit der Zuordnung von Verantwortlichkeiten und Zielterminen versehen sein. Zudem gilt es, den aktuellen Maßnahmenstatus zu vermerken (z. B. „offen“, „in Entscheidung“, „in Umsetzung“, „abgeschlossen“, „verworfen“). Der FMEA-Status sollte immer synchron zur eigentlichen Produktentwicklung und Prozessgestaltung gehalten werden.

Schritt 7: Ergebnisdokumentation

Den wichtigsten Teil der FMEA-Dokumentation bilden die FMEA-Formblätter. Diese werden während den einzelnen Arbeitsschritten nach und nach durch das FMEA-Team gefüllt. Für alle Teilergebnisse sind entsprechende Zeilen oder Spalten vorgesehen.

FMEA										Name:			
Kontrolle										Seite			
Funktionsbeschreibung			SachName:		Verantwortl.:		Erstellt:		25.02.1998				
MFRZyklusnummer			Maßnahmenort:		Verantwortl.:		Erstellt:		10.04.1999				
Mögliche Fehler			Mögliche Fehlfunktionen:		Vermeidungsmaßnahmen:		Entscheidung:		11.11.1999				
Systemelement: 2D Antenne													
Funktion: dichtet gegenüber Wellenrichtung funktionsgerecht ab													
gewährleistet seinen unveränderten und funktionsgerechten Einsatz	D	dichtet gegenüber Wellenrichtung nicht funktionsgerecht ab	gewährleistet Überbau für Wellenrichtung nicht	Laufliche verschleißt	Mittelwertstandard	Anfang	08.04.2021	Realität nach DIN	4	Wartungsführung durch ZV?	3	90	Mayer, Hans
								System FMEA Prozess IT	4	Gerätecharakteristika			
gewährleistet seinen unveränderten und funktionsgerechten Einsatz	D	dichtet gegenüber Wellenrichtung nicht	dichtet den Ölzahn der Abriegelung nicht ab	Mittelwertstandard	Anfang	13.04.2021	Ergebnis-Krawlow	6	Schwingungsanalyse	5	240	Müller, Jürgen, AV1	
							Geräte-Anforderung (Lagerfestlegung)	6	Gerätecharakteristika				
gewährleistet seinen unveränderten und funktionsgerechten Einsatz	D	dichtet gegenüber Wellenrichtung nicht	dichtet den Ölzahn der Abriegelung nicht ab	Mittelwertstandard	Anfang	08.04.2021	Kanal-Anforderung	2	Übersicht über die übliche drahtlose	2	32	Schulz, Peter, E12	
							Übersicht über die übliche drahtlose	2	Übersicht über die übliche drahtlose				
Funktion: stellt Übertragung des Antennenstrahls in das Gehäuse sicher													
gewährleistet Drehmoment-Übertragung in 5 Stufen mit 100% Effizienz	D	gewährleistet Drehmoment-Übertragung in 5 Stufen mit 100% Effizienz	gewährleistet Drehmoment-Übertragung nicht	Mittelwertstandard	Anfang	08.04.2021	Kanal-Anforderung	4	Übersicht über die übliche drahtlose	1	32	Mayer, Hans	
							Übersicht über die übliche drahtlose	4	Übersicht über die übliche drahtlose				
gewährleistet seinen unveränderten und funktionsgerechten Einsatz	D	gewährleistet die betriebliche Lagerung im Gehäuse nicht	gewährleistet die betriebliche Lagerung im Gehäuse nicht	Mittelwertstandard	Anfang	03.04.2021	Kanal-Anforderung	4	keine	10	300	Schulz, Peter, E12	
							Übersicht über die übliche drahtlose	4	Übersicht über die übliche drahtlose				

Abbildung 8: Beispiel für ein FMEA-Formblatt

Damit liegen nach Abschluss der Optimierung, die zeitgleich auch spätestens dem Ende der Produktentwicklung oder Prozessgestaltung entsprechen sollte, die komplett ausgefüllten Formblätter im letzten Stand vor.

Die zusammenfassende Ergebnisdokumentation soll zusätzlich zu den Formblättern die Vorgehensweise, Ergebnisse und Schlussfolgerungen noch einmal beschreiben. Dazu gehören Angaben zu Ziel und Zweck der Analyse, zur Teamzusammensetzung und zum Zeitplan sowie eventuell zu den verwendeten Hilfsmitteln (z. B. genutztes Software-Werkzeug). Auch eine Erläuterung des verwendeten Risikomaßstabs, eine Übersicht über die verbleibenden Risiken und eine Zusammenfassung der beschlossenen Maßnahmen zur Risikominderung sind zu integrieren.

Für die Ergebnisdokumentation existieren keine generellen Inhalts- oder Formatvorlagen. Der Ergebnisbericht soll insgesamt den Anforderungen der Auftraggeber, der Behörden oder den innerbetrieblichen Vorgaben entsprechen.

5. Zusammenfassung

Die FMEA ist eine Methode der Qualitätssicherung, die möglichst zur frühzeitigen Fehlererkennung bei der Entwicklung von Produkten und bei der Gestaltung von Prozessen zum Einsatz kommen soll. Je früher das Verfahren genutzt wird, desto mehr Zeit und Kosten lassen sich im Zusammenhang mit der Vermeidung nachträglicher Fehlerbehebungen einsparen.

Ziel der Methode ist die systematische Dokumentation von Expertenwissen, die Durchführung einer Risikobewertung, das Ausweisen möglicher Restrisiken und die Ableitung von risikomindernden Maßnahmen.

Jede FMEA trägt unternehmensintern dazu bei, eine Wissensbasis aufzubauen und die Erkenntnisse bei Folgeentwicklungen zu nutzen.

Gerne beantworten wir Ihre Fragen und freuen uns auf Ihre Hinweise.

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an:

Rückfragen

Klaus Kühnert
(Systemanalytiker/Prokurist)
+49 351 8040 325
k.kuehnert@izp.de

Dr. Harald Jung
(Geschäftsführender
Gesellschafter)
+49 351 80403-23
h.jung@izp.de

Referenzdokumente

- [1] MIL-STD-1629A,
Military Standard: Procedures for performing a Failure mode, Effects, and Criticality Analysis
(24 NOV 1980)
- [2] DIN EN 60812:2006-11
Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen - Verfahren für die
Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) (IEC 60812:2006);
Deutsche Fassung EN 60812:2006
- [3] AIAG & VDA FMEA-Handbuch
Design-FMEA, Prozess-FMEA,
FMEA-Ergänzung - Monitoring & Systemreaktion
1. Ausgabe 2019

Impressum

IZP Dresden mbH
Am Waldschlösschen 4
D-01099 Dresden

Tel. +49 351 80403-23
Fax. +49 351 80403-26

Geschäftsführender Gesellschafter Dr. Harald Jung
Gesellschafter Dipl.-Ing. Klaus Kühnert

Amtsgericht Dresden HRB 32118