

## FME - Fehlermöglichkeiten- und Einflussanalyse

### Hinweis:

Diese Druckversion der Lerneinheit stellt aufgrund der Beschaffenheit des Mediums eine im Funktionsumfang stark eingeschränkte Variante des Lernmaterials dar. Um alle Funktionen, insbesondere Verlinkungen, zusätzliche Dateien, Animationen und Interaktionen, nutzen zu können, benötigen Sie die On- oder Offlineversion.

Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.

©2023 Berliner Hochschule für Technik (BHT)

## FME - Fehlermöglichkeiten- und Einflussanalyse



## Überblick und Lernziele

### Voraussetzungen

Zur Bearbeitung dieser Lerneinheit ist es notwendig, die  
GQM - Grundlagen des Qualitätsmanagements  
MVW - Qualitätsmanagement - Verfahren, Methoden und Werkzeuge  
bereits durchgearbeitet zu haben.



#### Lernziele

#### Lernziele

Die „Fehlermöglichkeiten- und Einflussanalyse“ (FMEA) ist eine Methode, mit der systematisch Fehlerpotentiale bei neuen oder geänderten Produkten und Prozessen analysiert werden. Sie wird eingesetzt, um das Auftreten von Fehlern im Vorfeld zu vermeiden. Die FMEA gehört zu den etablierten Methoden der Fehlerprävention.

Mit der FMEA Fehler entdecken zu lernen, bevor die Produkte das Unternehmen verlassen, bildet die zentrale Lehrintention, die mit den vorliegenden Kapiteln verfolgt wird.



#### Gliederung

#### Gliederung der Lerneinheit

Die Lerneinheit „Fehlermöglichkeiten- und Einflussanalyse (FMEA)“ gliedert sich wie folgt:

- ▶ Grundlagen der FMEA
- ▶ Verfahrensablauf einer FMEA
- ▶ Praxisbeispiel für eine Prozess-FMEA
- ▶ Vorarbeiten für die FMEA-Durchführung
- ▶ Zusammenfassung
- ▶ Wissensüberprüfung



#### Zeitbedarf

#### Zeitbedarf und Umfang

Für die Durcharbeitung dieser Lerneinheit benötigen Sie ca. 3 Stunden (180 Minuten).

📄 Formelsammlung des Studienmoduls (Siehe Anhang)



## 1 Grundlagen der FMEA

FMEA ist das Initialwort des englischen Ausdruckes „Failure Mode and Effects Analysis“. Ins Deutsche übersetzt steht der Ausdruck für die „Analyse potentieller Fehler und Folgen“.

Die FMEA ist eine formalisierte, analytische und teamorientierte Methode mit dem Zweck, bei Systemen, Produkten und Prozessen

- potentielle Fehler
- potentielle Fehlerfolgen und
- potentielle Fehlerursachen

aufzuzeigen und zu bewerten sowie Maßnahmen zur Vermeidung der Fehler festzulegen.

Die FMEA wurde Mitte der 50er Jahre von der US-amerikanischen Weltraumbehörde NASA entwickelt. Für die FMEA existiert auch eine europäische Norm die DIN EN 60812.

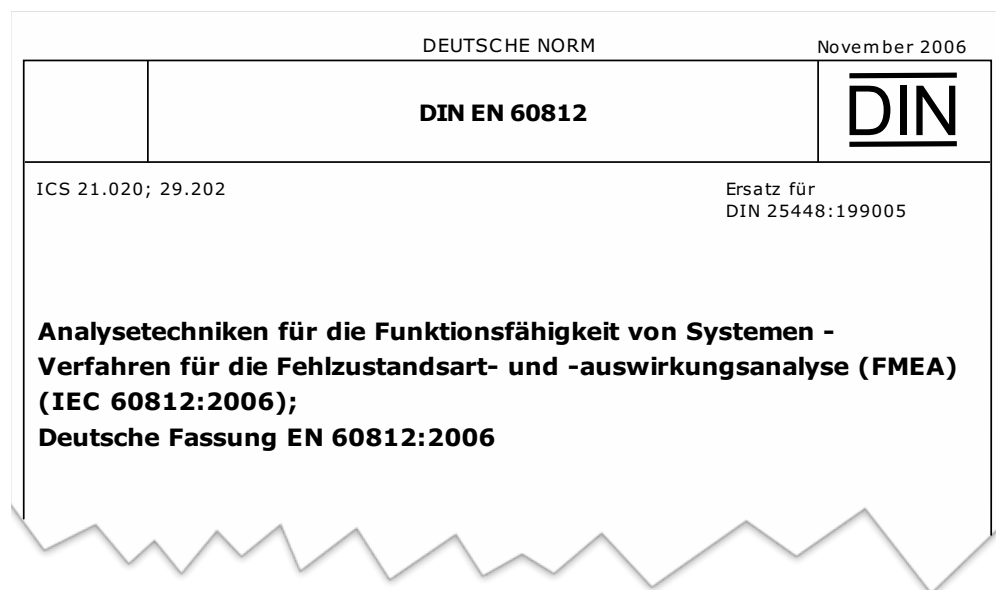


Abb.: Kopfteil Normblatt

Die Norm DIN EN 60812 weist ausdrücklich auf die in der Praxis üblichen Bandbreiten der FMEA-Nutzung hin. Neben der Entwicklung und industriellen Prozessen kann die FMEA - wie in der Norm ausgesprochen - auch in Krankenhäusern, medizinischen Laboratorien, Schulsystemen und anderswo angewendet werden. Auch gibt es bei der Form der Risikobewertung und Dokumentation viele Varianten. In dieser Lerneinheit behandeln wir die FMEA wie sie vornehmlich in der deutschen Automobilindustrie angewendet wird.

### Anmerkungen:

1. Die Norm enthält auch Hinweise auf die Grenzen der FMEA. Sie empfiehlt bei komplexeren Sachverhalten eine Kombination zwischen FMEA mit einer Fehlerbaumanalyse (Fault Tree Analysis FTA oder in der Norm auch Störungsbaumanalyse genannt) für die sie in der Lerneinheit später ein Beispiel finden.
2. Die Norm unterscheidet zwischen FMEA und FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis). Auf die Unterschiede hierbei werden wir in dieser einführenden Lerneinheit nicht eingehen.



### 1.1 Arten der FMEA

Man unterscheidet im Qualitätsmanagement drei Arten von FMEAs:

- System-FMEA
- Konstruktions-FMEA
- Prozess-FMEA

Die **System-FMEA** beschäftigt sich mit der Untersuchung des funktionsgerechten Zusammenwirkens von Systemkomponenten und ihrer Verbindungen. Es sollen **potentielle** Fehler gefunden und vermieden werden. (Die Betonung liegt hier auf „potentiell“.)

Die System-FMEA kann auf Produkte und Verfahren angewendet werden. Mit ihr wird insbesondere unter Berücksichtigung der Funktionsfähigkeit der Einzelkomponenten die Systemzuverlässigkeit und die Einhaltung von Vorschriften geprüft.

Wichtig ist, dass sie frühzeitig erfolgt. Dies gilt übrigens für alle FMEAs. Sie setzen dann ein, wenn es bewertbare Entwürfe, Zeichnungen oder vorläufige Ablauf- und Fertigungspläne gibt.

Die System-FMEA kann auch auf organisatorische Abläufe angewendet werden.

Mit der **Konstruktions-FMEA** werden auf der Basis von Pflichtenheften die Gestaltung und Auslegung von Produkten oder Komponenten analysiert. Es gilt potentielle Fehler bei der Entwicklung oder konstruktiv beeinflussbare Prozessfehler zu vermeiden.

Die **Prozess-FMEA** dient zur Analyse und Vermeidung möglicher Planungs- und Prozessfehler.

Die drei oben genannten FMEAs stehen in einem methodischen Zusammenhang: Die System-FMEA ist Ausgangsbasis für die Konstruktions-FMEA, aus der in der Phase der Prozessplanung eine Prozess-FMEA abgeleitet wird. Diesen Zusammenhang greifen wir später nochmals auf, nachdem Sie die Grundstruktur der FMEA kennengelernt haben.

	Komponente/ Prozess	Funktion/ Zweck	Fehler- auswirkung	Fehler- art	Fehler- ursache
<b>System-FMEA</b>	Zündverteiler	Spannungs- impulse- verteiler	KFZ- Stillstand	Zündungs- ausfall	Schaft gerissen
<b>Konstruk- tions- FMEA</b>	Zündverteiler- läufer	Presssitz auf Nockenwelle	Zündungs- ausfall	Schaft gerissen	Lunker
<b>Prozess- FMEA</b>	Spritzgießen Zündverteiler- läufer	homogenes Gefüge gewährleisten	Schaft gerissen	Lunker	Nachdruck zu gering

*Note: Red arrows labeled 'weil' indicate causal links between error types in the table above.*

Abb.: Methodischer Zusammenhang der FMEA-Arten (nach Kersten)

### Umwelt-FMEA

Neben den bereits beschriebenen FMEAs ist im Umweltmanagement eine Umwelt-FMEA gebräuchlich. Diese dient zur Analyse potentieller Umweltrisiken. Hier untersucht man – im Gegensatz zu den qualitätsbezogenen FMEAs – existierende Verfahren, Prozesse und Systeme.



## 1.2 Auslöser für FMEA-Analysen

Auslöser für FMEA-Analysen sind:

- Neuentwicklungen
- wesentliche Produktänderungen
- neue Verfahren und Prozesse
- wesentliche Prozessänderungen

Die FMEA ist ein wirksames Mittel, um die nicht direkt sichtbaren Folgen von Fehlern zu bekämpfen, da sie fehlervermeidend wirkt. Dazu passt das Bild eines Eisberges. Die sichtbaren Kosten von Fehlern machen nur einen kleinen Teil der Gesamtkosten aus, die durch Fehler entstehen.

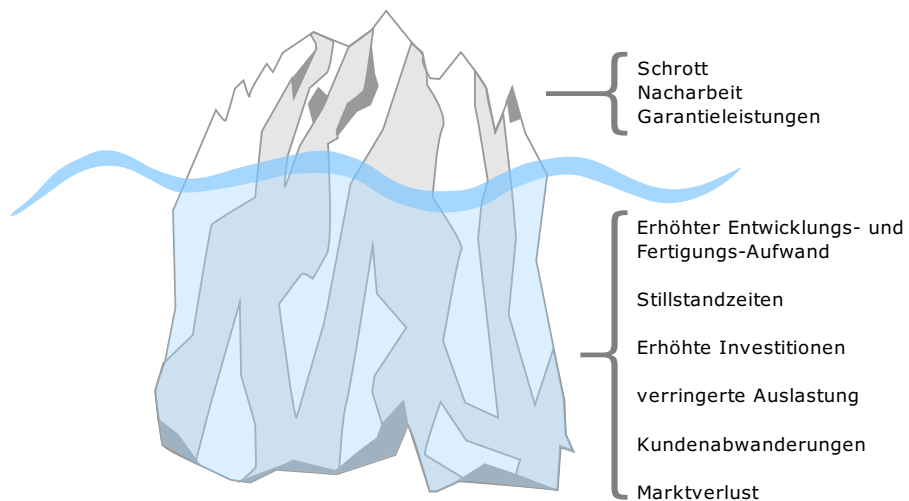


Abb.: Der Eisberg-Effekt

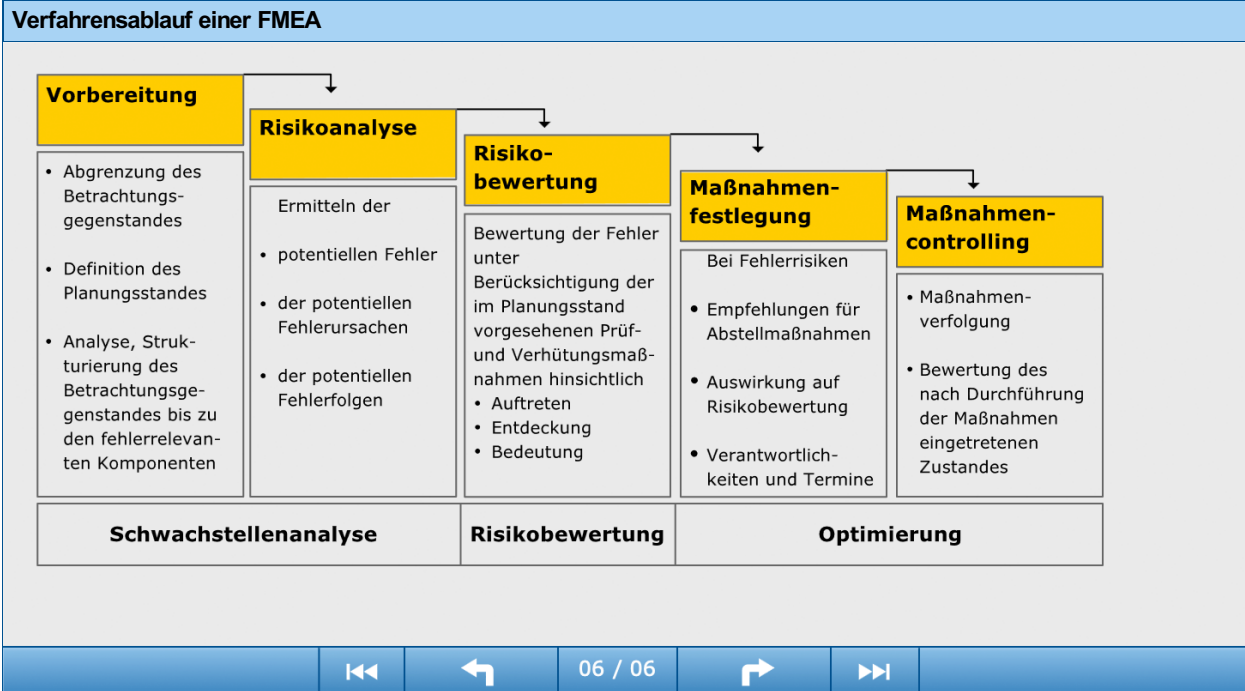


## 2 Verfahrensablauf einer FMEA

Die FMEA folgt grundsätzlich einem schematisierten Verfahrensablauf, der für alle FMEA-Arten ähnlich ist.



Diashow



### Textversion: Verfahrensablauf einer FMEA

#### Schwachstellenanalyse

##### Vorbereitung

- Abgrenzung des Betrachtungsgegenstandes
- Definition des Planungsgegenstandes
- Analyse, Strukturierung des Betrachtungsgegenstandes bis zu den fehlerrelevanten Komponenten

##### Risikoanalyse

- Ermitteln der potentiellen Fehler
- Ermitteln der potentiellen Fehlerursachen
- Ermitteln der potentiellen Fehlerfolgen

##### Risikobewertung

- Bewertung der Fehler unter Berücksichtigung der im Planungsstand vorgesehenen Prüf- und Verhütungsmaßnahmen hinsichtlich Auftreten, Entdeckung, Bedeutung

##### Optimierung

##### Maßnahmenfestlegung

- Bei Fehlerrisiken Empfehlungen für Abstellmaßnahmen
- Auswirkung auf Risikobewertung
- Verantwortlichkeiten und Termine





### 3 Praxisbeispiel für eine Prozess-FMEA

Um den Ablauf der FMEA zu verstehen, wenden wir uns dem Beispiel einer konkreten Prozess-FMEA zu. Wir gehen die Behandlung einer Fehlermöglichkeit Schritt für Schritt durch. Schauen Sie sich bitte das folgende Beispiel genauer an.

Fehlermöglichkeit- und Einflußanalyse										Teil-Benennung QSB-Abgasanlage (AGA)		Teil-Nummer div.					
Konstruktions-FMEA					Prozess-FMEA					Modell / System / Fertigung Modell X		Zeichnungsdatum 29.2.1990					
Name / Abteilung / Lieferant					Name / Abteilung / Lieferant					Erstellt durch (Name/Abt.) Pape (Q), Schulz (P.F), Prenzel (P), Sondermann (E)		Datum 23.4.1990		überarbeitet 30.6.1990			
Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant																	
Systeme Merkmale	Fehlerart Arbeitsfolge und Ablauf	Potentielle Fehler (Art)	Potentielle Folgen des Fehlers (Auswirkungen)	Potentielle Fehlerursachen (Ursache)	Derzeitiger Zustand				Empfohlene Abstellmaßnahmen	Verantwort- lichkeit	Verbesserter Zustand						
					Verhütungs- / Prüfmaßnahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung			RPZ	Getroffene Maßnahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung	RPZ	
AF 30 Auspuffrohr vorn und Dichtung mit Klemmfedern an Auspuffkrümmer befestigen	1	falscher Dichttring verbaut	Quietschgeräusche Undichtigkeit (Abblasgeräusche)	1.1 Montagefehler infolge Sortenvielfalt		4	8	10	320	1.1 Sortenspeicher mit optischer Vorgabe	Schulz P P						
										1.2 E prüft Vereinheitlichung der Gleitringe	Sondermann E	1.2 Ringe werden vereinheitlicht	1	8	1	8	
		Fehler-Analyse			Risiko-Beurteilung				Mögliche Lösungen		Ergebnis-Beurteilung						
	2	Klemmfeder nicht engerastet	Undichtigkeit Knackgeräusche	2.1 Montagefehler		4	6	6	144	2.1 Montagewerker im Try-out-Raum schulen	Prenzel P	2.1 Schulung wird durchgeführt					
			Schiefelage des Auspuffrohres (führt zum Abschlagen der AGA)	2.2 Vertiefungen im Auspuffrohr bzw. Krümmer nicht in Ordnung		2	2	8	32	2.2 Prozeßanalyse beim Zulieferer, ob Annahmen in Ordnung	Pape Q	2.2 In Auditplan aufgenommen					
Fehlerort		Welcher Fehler könnte auftreten?		Was bedeutet er für den Kunden?		Warum könnte der Fehler auf- treten?		Welche Ab- sicherung ist geplant?		Wie hoch ist das Risiko?		Was ist zu tun?		Wer ist verant- wortlich?		Wie hoch ist das Restrisiko?	
Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Feh (Fehler kann vorkommen)			Bedeutung der Fehlers (Auswirkungen auf den Kunden)			Wahrscheinlichkeit der Entdeckung des Fehlers (vor Auslieferung an den Kunden)			Blatt 4								
unwahrscheinlich = 1			kaum wahrnehmbare Auswirkungen			hoch = 1											
sehr gering = 2 - 3			unbedeutender Fehler, geringe Belastigung des Kunden			mäßig = 2 - 3											
gering = 4 - 6			mäßig schwerer Fehler			gering = 4 - 6											
mäßig = 7 - 8			schwerer Fehler, Verärgerung des Kunden			sehr gering = 7 - 8											
hoch = 9 - 10			äußerst schwerwiegender Fehler			unwahrscheinlich = 9 - 10											

Abb.: Beispiel eines FMEA-Formblatts

Die einzelnen Bereiche des FMEA-Formblattes werden Ihnen nun im Detail vorgestellt. Dazu wäre es sinnvoll, wenn Sie die PDF-Datei parallel zum Text einsehen.

Beispiel FMEA-Formblatt im PDF-Format [41 KB]























### 3.9 FMEA und RPZ: Gedankenexperiment

Folgendes Gedankenexperiment soll Ihnen die RPZ-Problematik verdeutlichen:

Angenommen es gäbe eine theoretisch „richtige“ RPZ, die sich aus den „korrekt“ prognostizierten Einstufungen für A, B und E mit jeweils 5 zusammensetzt:

$$\mathbf{RPZ = A \times E \times B}$$

$$\mathbf{125 = 5 \times 5 \times 5}$$

In einem Team sitzen die „Optimisten“, die A und E etwas zu niedrig einschätzen:

$$\mathbf{RPZ = A \times E \times B}$$

$$\mathbf{80 = 4 \times 4 \times 5}$$

Die „Pessimisten“ eines anderen Teams schätzen folgendermaßen:

$$\mathbf{RPZ = A \times E \times B}$$

$$\mathbf{180 = 6 \times 6 \times 5}$$

Die Prognoseunsicherheit von  $\pm 1$  zu einem „richtigen“ Wert ist sicherlich nicht realitätsfremd und muss als systemkonform angesehen werden. Das heißt: In unserem Fall ist für einen „theoretisch richtigen“ Wert von 125 eine Bandbreite der RPZ von 80 bis 180 durchaus als nicht unrealistisch anzusehen!

Noch eine Bemerkung zur RPZ:

Stellen Sie sich die Einstufung für zwei Fehlerzustände vor.

Fehlerzustand 1


$$\mathbf{RPZ = A \times E \times B}$$

$$\mathbf{36 = 3 \times 2 \times 6}$$

Fehlerzustand 2

$$\mathbf{RPZ = A \times E \times B}$$

$$\mathbf{36 = 2 \times 2 \times 9}$$

Die RPZs sind gleich. Aber wo liegt trotzdem ein höheres Risiko vor? Natürlich bei Fehlerzustand 2, aufgrund der höheren Bedeutung von B! A unterscheidet sich nur um eine Einstufungseinheit. Schauen Sie in der  Tabelle für die A-Einstufung (Siehe Anhang) nach, wie gering sich die prognostizierten Auftretenswahrscheinlichkeiten unterscheiden.

Daraus folgt: Neben der RPZ müssen auch die Einzelfaktoren bei der Analyse des Risikos betrachtet werden. Bei einer Fehlerart mit mehreren Fehlerzuständen ist die jeweils höchste RPZ maßgebend.



Analyse potentieller Fehler, Ursachen und Folgen (Kopfteil für organisatorische Aufgaben)																				
Bauteile Prozess-schritte	Potenzielle Fehler	Potenzielle Folgen des Fehlers	D	Potenzielle Fehlerursachen	Derzeitiger Zustand				empfohlene Abstellmaßnahmen	Verantwortlichkeit, Termin	Verbesserter Zustand									
					Vorge-sehene Verhü-tungs- und Prüf-maß-nahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung			RPZ	getrof-fene verhü-tungs- und Prüf-maß-nahmen, Termin	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung	RPZ				
System-analyse																				

Abb.: Spalte „Verantwortlichkeit, Termin“ des FMEA-Formblatts

Die weitere Bearbeitung und Entscheidung über zu treffende Maßnahmen erfolgen in den jeweiligen Fachabteilungen.



### 3.11 FMEA: Bewertung des verbesserten Zustandes

Nach der Entscheidung über die einzelnen Maßnahmen der FMEA trifft sich das FMEA-Team, um eine abschließende Bewertung vorzunehmen.

Analyse potenzieller Fehler, Ursachen und Folgen (Kopfteil für organisatorische Aufgaben)																				
Bauteile Prozess-schritte	Potenzielle Fehler	Potenzielle Folgen des Fehlers	D	Potenzielle Fehlerursachen	Derzeitiger Zustand				empfohlene Abstellmaßnahmen	Verantwortlichkeit, Termin	Verbesserter Zustand									
					Vorge-sehene Verhü-tungs- und Prüf-maß-nahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung			RPZ	getrof-fene verhü-tungs- und Prüf-maß-nahmen, Termin	Auftreten	Bedeutung	Entdeckung	RPZ				
System-analyse																				

Abb.: „Verbesserter Zustand“ des FMEA-Formblatts

Es wird die entschiedene Maßnahme in das Formblatt eingetragen (Sie muss nicht unbedingt mit der seinerzeit vorgeschlagenen übereinstimmen.). Danach nimmt man eine Einstufung des (Rest-) Risikos vor. Dazu werden Auftretenswahrscheinlichkeit A, Bedeutung B und das Risiko der Nichtentdeckung E erneut bewertet und eine Risikoprioritätszahl (RPZ) berechnet.



### 3.12 FMEA: Beispiel - Umweltbezogene Prozess-FMEA

Haben Sie Interesse an der FMEA gewonnen? Dann schauen Sie sich das folgende Beispiel an, in dem umweltbezogene Aspekte im Rahmen einer Prozess-FMEA analysiert werden.

Fehlermöglichkeit- und Einflußanalyse										Teil-Bezeichnung Schmierung Drehautomat		Teil-Nummer XXII - A 00001		
Konstruktions-FMEA			Umwelt-Prozess-FMEA			System-FMEA				Modell / System / Fertigung		Datum		
Name / Abteilung / Lieferant / Telefon			Name / Abteilung / Lieferant / Telefon			Erstellt durch (Name/Abt.)				Überarbeitet Datum				
Bestätigung durch betreffende Anwendungen und/oder Lieferant	Fehlerart-Nr.	Mögliche Fehler		Derzeitiger Zustand			Empfohlene Abstellmaßnahmen		Verantwort- lichkeit Zuständigkeit		Verbessertes Zustand			
		Art	Umweltbezogene Auswirkungen	Ursache	Verhütungs- / Prüfmaß- nahmen	Auftreten Bedeutung	Entdeckung RPZ	Aktivität		Getroffene Maßnahmen	Auftreten Bedeutung	Entdeckung RPZ		
	1	Schmiermittel- verschleiß ist zu hoch	erhöhte Umwelt- belastung	Temperatur ist zu hoch	Temperatur- messung									
				wegen:										
				<input type="checkbox"/> Drehzahlvorwahl				Anpassung der Durch- flußmenge an die						
				<input type="checkbox"/> Geschwindigkeiten				Maschinenparameter	Fertigung	Durchfluß- menge		4	4	1
			erhöhter Ressour- cenverbrauch						Fert.pl.	optimiert				16
				wegen:										
				<input type="checkbox"/> Filterverstopfung	Anzeige u.			regelmäßige Wartung	Fert.pl.	Filteranzeige				
				<input type="checkbox"/> Duse verstopft	Wartung	4	4	2	32	Instandh.	gut sichtbar	4	4	1
				Verschmutzung durch:	visuelle									
				<input type="checkbox"/> Spähne	Kontrolle,			regelmäßige Reinigung						
				<input type="checkbox"/> Staub	Proben-			durch den Bediener,						
				<input type="checkbox"/> andere Zusätze	entnahme			(evt. Probenentnahme)	Fertigung	Reinigungs- standards				
				<input type="checkbox"/> defekter Filter	und	9	6	1	54	Instandh.		4	6	1
				Zersetzung durch:	Wartung									
				<input type="checkbox"/> Strahlung	Messung u.					Reduzierung der				
				<input type="checkbox"/> andere Zusätze	Proben-					Strahlung bzw.	Fert.pl.	regelmäßige		
				<input type="checkbox"/> Umgebungsstoffe	entnahme	1	3	6	18	Isolierung	Instandh.	Messung	1	3
													4	12

Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Fehlers (Fehler kann vorkommen)	Bedeutung der Fehlers (Auswirkungen auf den Kunden)	Wahrscheinlichkeit der Entdeckung des Fehlers (vor Auslieferung an den Kunden)
unwahrscheinlich = 1 sehr gering = 2 - 3 gering = 4 - 6 mäßig = 7 - 8 hoch = 9 - 10	kaum wahrnehmbare Auswirkungen unbedeutender Fehler, geringe Belästigung des Kunden = 1 mäßig schwerer Fehler = 2 - 3 schwerer Fehler, Verärgerung des Kunden = 4 - 6 äußerst schwerwiegender Fehler = 7 - 8 = 9 - 10	hoch = 1 mäßig = 2 - 5 gering = 6 - 8 sehr gering = 9 unwahrscheinlich = 10

Abb.: Beispiel des FMEA-Formblatts

Beispiel Umwelt - Formblatt im PDF-Format [56 KB]

Hinweis:

Die FMEA würde in der Praxis bei dort anzutreffenden Auftretenswahrscheinlichkeiten etwas anders aussehen. Bei einer geringeren Bedeutung oder einer höheren Entdeckenswahrscheinlichkeit oder einer niedrigeren Risikoprioritätszahl würde man i.a. keine Maßnahmen ergreifen.

Da die Risiken im Beispiel sehr klein sind, sollten Sie sich genau überlegen, ob Sie Maßnahmen ergreifen, denn dadurch werden meist zusätzliche Kosten verursacht.



### 4 Vorarbeiten für die FMEA-Durchführung

Die FMEA verlangt eine analytische Vorbereitung.

So ist eine Funktionsanalyse des Produktes oder Prozesses erforderlich, um potentielle Fehlerzustände zu erkennen.

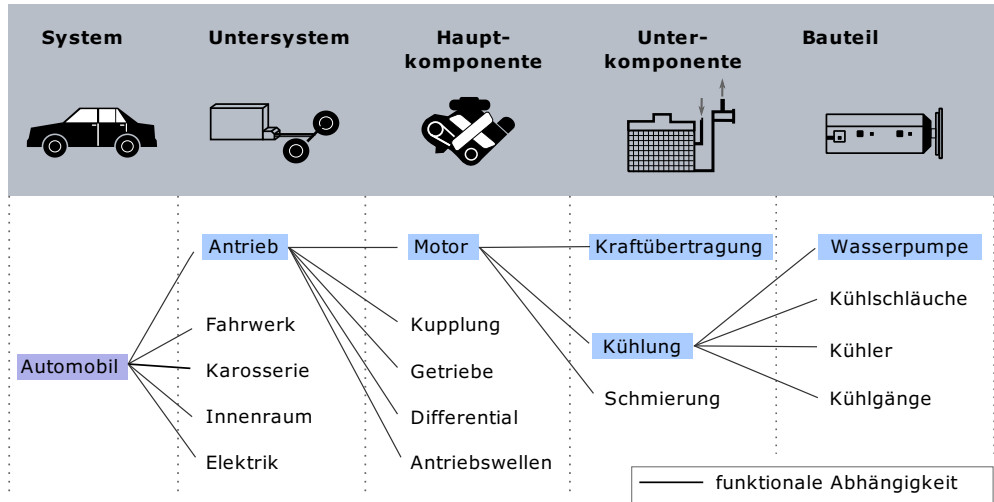


Abb.: Teilebaum der FMEA-Durchführung

In der Praxis werden heute rechnerunterstützte Systeme eingesetzt, in denen auch Teilestrukturen und Teilebäume geführt werden. Hieraus lassen sich relativ leicht Fehlerbäume ableiten. Für eine FMEA lassen sich aus den Teilebäumen relativ leicht Funktionsstrukturen ableiten. Diese bilden dann die Grundlage für die Funktionsanalyse.

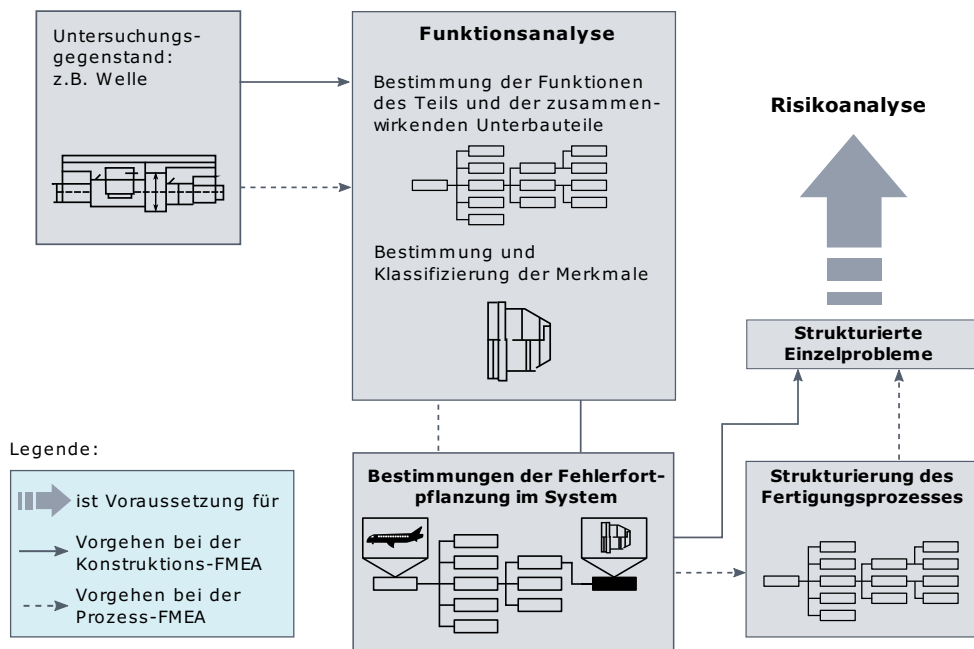


Abb.: Funktionsstruktur der FMEA-Durchführung



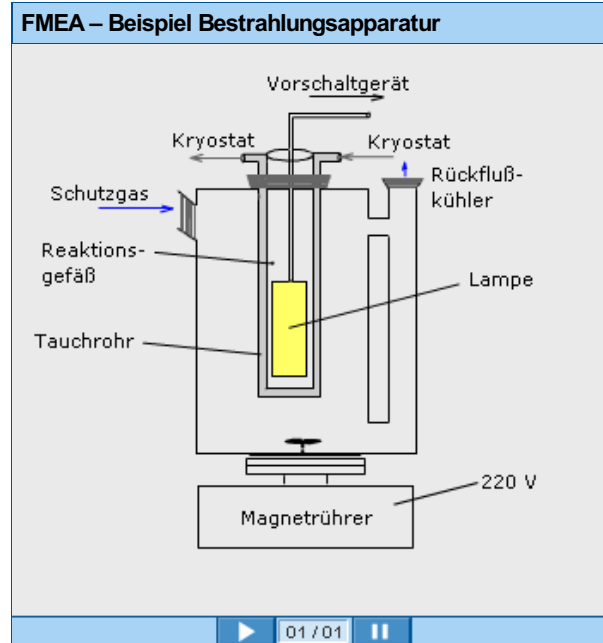
### 4.1 Fehlerbäume

Häufig verwendet man zur Beschreibung möglicher Fehlerzustände sogenannte Fehlerbäume. Ein Beispiel einer Vorarbeit für eine Prozess-FMEA soll Ihnen das verdeutlichen.

Für die folgende Bestrahlungsapparatur sollen mögliche Fehlerfälle aufgenommen werden.



Animation

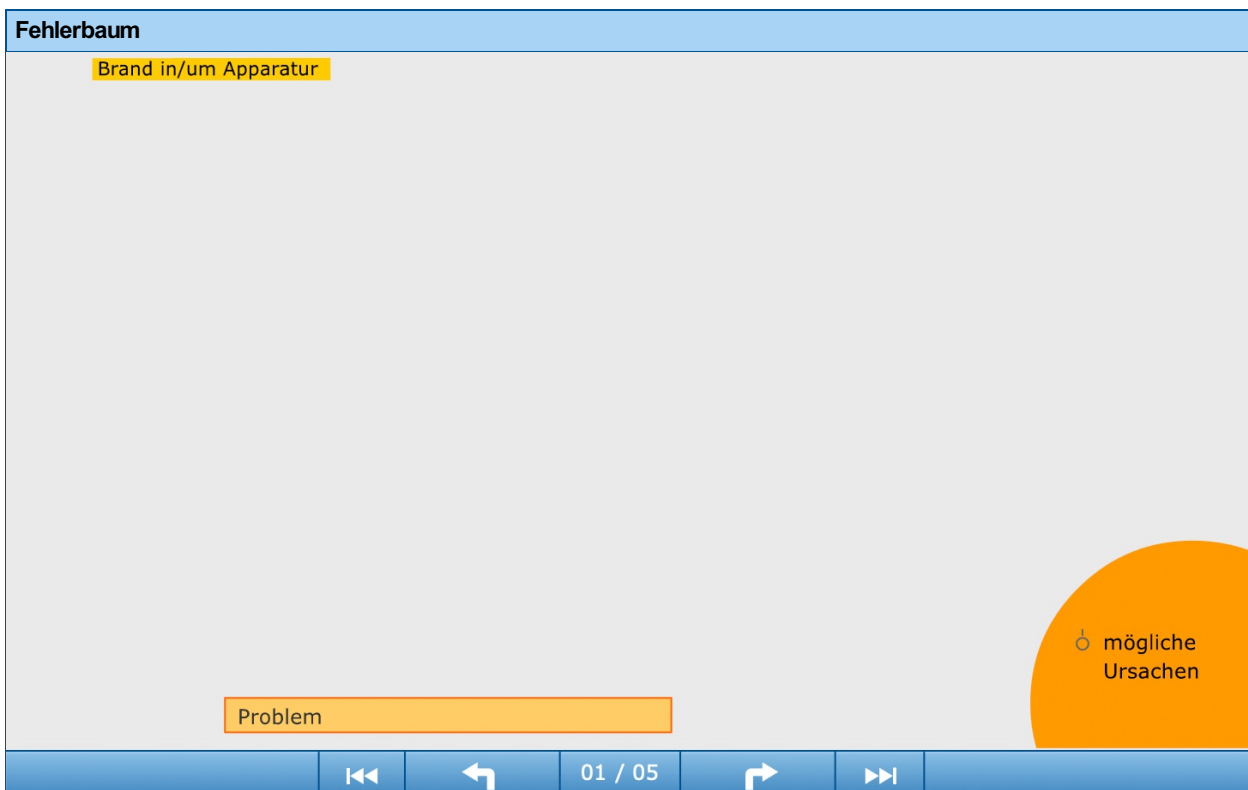


**Anmerkung:** Ein Kryostat ist ein Gerät, mit dem bestimmte, evtl. sehr tiefe Temperaturen erreicht und konstant gehalten werden können, also ein Gerät um z. B. Überhitzung zu vermeiden. In diesem ist Kühlfüssigkeit (Kältemittel) enthalten.

Bei einem Fehlerbaum geht man von einem sogenannten Top-Versagensereignis aus: In dem Beispiel geht es um einen möglichen Brand der Apparatur (Top-Versagensereignis).



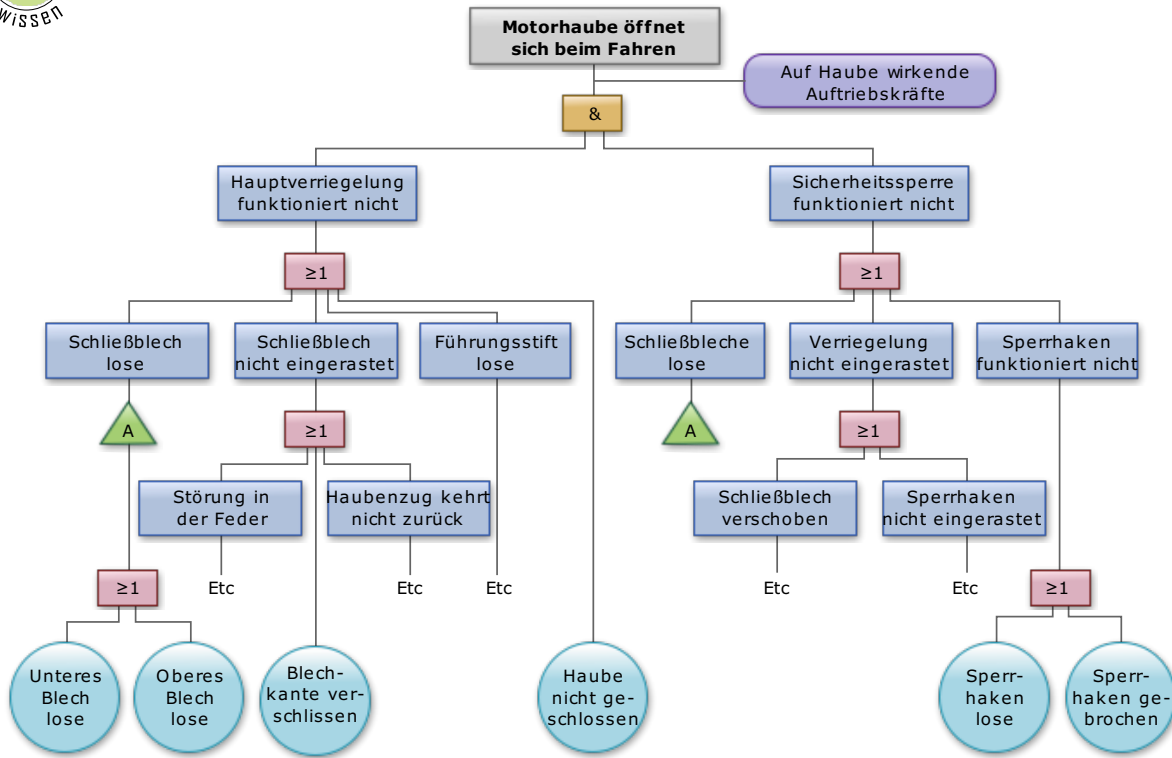
Diashow



Anmerkung:

Im Qualitätsmanagement gibt es die Methode Fehlerbaumanalyse (FBA), welche die gleiche Grundstruktur hat wie der oben dargestellte Fehlerbaum, aber mit logischen Verknüpfungen statt der „Warum“ arbeitet.

Die folgende Abbildung zeigt eine Fehlerbaumanalyse (FBA, engl. FTA Fault Tree Analysis). Hier erfolgt die Risikoanalyse allein auf Basis dieser Methode ohne Verbindung mit einer FMEA:



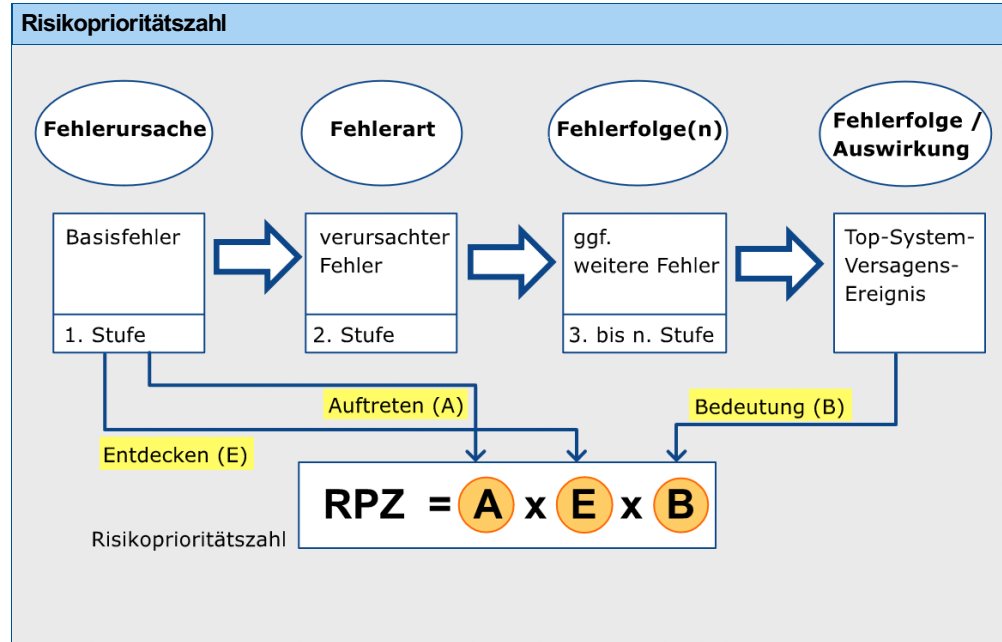
	Ein Ereignis oder Ausfall (des Systems oder Bauelements).		"Übernahme"-Symbol wird zur Vermeidung von Wiederholungen in einer Analyse benutzt, wenn die einzelnen Positionen an verschiedenen Zweigen eines Ursachensbaums gleich sind.
	Ein grundlegendes Ereignis oder eine grundlegende Ursache (innerhalb des Systems).		"Und Gate"-Symbol: Wird benutzt, wenn gleichzeitig zwei oder mehr Teile ausfallen müssen, um einen Systemausfall zu verursachen.
	Ein bedingtes Ereignis (ein grundlegendes oder mitverursachendes Ereignis außerhalb des Systems).		"Oder Gate"-Symbol: Wird benutzt, wenn eine von mehreren Möglichkeiten allein einen Ausfall herbeiführen kann.

Abb.: Fehlerbaumanalyse



## 4.2 Risikoprioritätszahl

Sie sehen in der Darstellung auf der letzten Seite die heruntergebrochenen Basisereignisse. Diese bilden die Grundlage für Zahlenzuordnungen für die Faktoren A (Auftrittswahrscheinlichkeit) und E (Risiko der Nichtentdeckungen), während sich die Bedeutung B nach dem Basisereignis richtet.



### Textversion: Risikoprioritätszahl

Wahrscheinlichkeit der Entdeckung (E) des Fehlers: hoch (1), mäßig (2-5), gering (6-8), sehr gering (9), unwahrscheinlich (10)

Wahrscheinlichkeit des Auftretens (A) des Fehlers: hoch (9-10), mäßig (7-8), gering (4-6), sehr gering (2-3), unwahrscheinlich (1)

Bedeutung (B) des Fehlers: kaum wahrnehmbare Auswirkungen (1); unbedeutender Fehler, geringe Belästigung des Kunden (2-3); mäßig schwerer Fehler (4-6); schwerer Fehler, Verärgerung des Kunden (7-8); äußerst schwerwiegender Fehler (9-10)





### 4.3 Organisatorische Vorarbeiten

Die FMEA-Durchführung verlangt einige organisatorische Vorbereitungen. Ein Team aus mehreren involvierten Abteilungen muss benannt und eingeladen werden. Normalerweise lädt der verantwortliche Konstrukteur zur Konstruktions-FMEA und der verantwortliche Produktionsplaner zur Prozess-FMEA ein.

Hilfreich ist oft ein Moderator für die Projektarbeit. Ihm fällt die wichtige Aufgabe zu:

- das Team auf das gemeinsame Ziel einzuschwören,
- die Kreativität der Gruppe zu fördern,
- aufkommende Konflikte zu lösen und
- für die richtige Methodenanwendung Sorge zu tragen.

Wichtig sind geeignete Räumlichkeiten mit Visualisierungshilfsmitteln und eine Softwareunterstützung. In heutigen CAQ-Systemen (Computer Aided Quality Management) werden Softwarebausteine für die FMEA-Projektarbeit angeboten.

Leistungsmerkmale von FMEA-Software sind:

- Windows-Oberfläche
- objektorientierte Datenbank
- Netzfähigkeit
- Grafikeditor für die Strukturierung
- Fehlerbaumanalyse
- Datenübernahme ins Formblatt
- Terminverfolgung
- Paretoanalyse (Anordnung der Fehlerzustände nach ihrer Wichtigkeit).

## Zusammenfassung

- ✓ Die Fehlermöglichkeiten- und Einflussanalyse (FMEA) ist eine systematische Schwachstellenanalyse. Sie ist eine Methode, die nur in einem kompetenten Team ihre volle Wirkung entfaltet.
- ✓ Mit der FMEA werden potentielle Fehler analysiert, das Risiko bezüglich des Auftretens, der Bedeutung und des Nichtentdeckens mit Hilfe der Risikoprioritätszahl, kurz RPZ, beziffert. Zusätzlich werden Abstellmaßnahmen für hohe Risiken erarbeitet.
- ✓ Drei Arten von FMEA sind im Qualitätsmanagement anzutreffen:
  - System-,
  - Konstruktions(Produkt)- und
  - Prozess-FMEA.Daneben gibt es weitere Formen, wie z. B. FMEA zur Erfassung von Umweltrisiken (Umwelt-FMEA).
- ✓ Die FMEA gliedert sich in fünf Phasen:
  - Definition des Analyseumfanges,
  - Ermittlung von potentiellen Fehlerzuständen nach Fehlerart, -auswirkung und -ursache,
  - Bewertung der Fehlerzustände (RPZ),
  - Erarbeitung notwendiger Abstellmaßnahmen,
  - Bewertung der festgelegten Abstellmaßnahmen (RPZ des sogenannten Restrisikos).
- ✓ Sie sollten sich bei einer FMEA also folgende Fragen stellen:
  - Wenn ein Fehler auftritt:  
**Wie** sieht der mögliche Fehlerzustand aus?
  - Frage nach dem „Ob“ und der „Konsequenz“, also dem Auftreten und der Bedeutung:  
Wie hoch ist die Auftretenswahrscheinlichkeit für den Fehler und was hat das für Folgen (Bedeutung)?
- ✓ Die FMEA ist eine Methode zur Fehlerprävention. Es wird das Prinzip „Fehlervermeidung statt Fehlerentdeckung“ umgesetzt.

---

## Wissensüberprüfung

Versuchen Sie die hier aufgeführten Fragen selbständig kurz zu beantworten, bzw. zu skizzieren. Wenn Sie eine Frage noch nicht beantworten können, kehren Sie noch einmal auf die entsprechende Seite in der Lerneinheit zurück und versuchen Sie sich die Lösung zu erarbeiten.



Formulieren

### Übung FME-01

#### Wissensfragen zur Lerneinheit „Fehlermöglichkeiten- und Einflussanalyse“

1. Welche drei FMEA-Arten gibt es im Qualitätsmanagement?
2. Nennen Sie die fünf Phasen der FMEA!
3. Welche Vorarbeiten sollten für eine FMEA gemacht werden?
4. Wie wird die Risikoprioritätszahl ermittelt?
5. Welche Rolle hat der FMEA-Moderator?

#### Lösungshinweise (Siehe Anhang)

Bearbeitungszeit: 30 Minuten

## Appendix

### Zuordnungsschemata zur Ermittlung der Risikoprioritätszahl (RPZ)

$$RPZ = A \times B \times E$$

Die folgenden Schemata geben praxisrelevante Werte wieder. Die Tabellen sind aber dennoch unternehmensspezifisch zu hinterfragen und ggf. anzupassen.

- 1. Zuordnungsschema für die Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit A
- 2. Zuordnungsschema für die Bewertung „Bedeutung (Auswirkung, Fehlerfolge)“ B
- 3. Zuordnungsschema für die Ermittlung der „Entdeckung“ bzw. des „Risikos der Nichtentdeckung“ E

#### 1. Zuordnungsschema für die Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit A

Prognostizierte Prozesssituation	(max.) Auftrittenswahrscheinlichkeit A in %	Punktezuordnung A
Fehlerauftreten unwahrscheinlich	gegen 0	1
Beherrschter Prozess mit $cp \geq 1,33$ bzw. Fehleranteil (vor Prüfung) $< 1/20000$	0,005	2
Beherrschter Prozess mit $1,0 \leq cp \leq 1,33$ bzw. Fehleranteil zw. $1/2000$ bis $1/20000$	0,05	3
Beherrschter Prozess mit $0,8 \leq cp \leq 1,00$ bzw. Fehleranteil zwischen $1/200$ bis $1/1000$	0,1	4
	0,2	5
	0,5	6
Beherrschter Prozess mit $cp \leq 0,8$ bzw. Fehleranteil zw. $1/100$ bis $1/50$	1	7
	2	8
Nicht beherrschter Prozess mit Fehleranteil zwischen $1/10$ bis $1/2$	10	9
	50	10

#### 2. Zuordnungsschema für die Bewertung „Bedeutung (Auswirkung, Fehlerfolge)“ B

Prognostizierte Bedeutung der Fehlerauswirkung (f. Kunden)	Punktezuordnung
Nicht wahrnehmbare Auswirkung	1
Unbedeutende Fehlerauswirkung	2
Geringfügige Beeinträchtigung	3
Geringfügige Belästigung	4
Unzufriedenheit des Kunden	5
Verärgerung des Kunden (Werkstattbesuch, Reklamation, Beschwerde, nicht fahrbereites Kfz)	6
	7
	8
Funktionsverlust mit besonderer Verärgerung und Risiken für Kunden (Liegenbleiben mit dem Kfz)	9
Sicherheitsgefährdung	10

### 3. Zuordnungsschema für die Ermittlung der „Entdeckung“ bzw. des „Risikos der Nichtentdeckung“ E

Prognostizierte Möglichkeiten der Fehlerentdeckung	(max.) Wahrscheinlichkeit der Entdeckung E in %	(max.) Nicht-entdeckungswahrscheinlichkeit in %	Punktezuordnung E
Sichere Entdeckungswahrscheinlichkeit	99,999	0,001	1
Hohe Entdeckungswahrscheinlichkeit	99,99	0,01	2
	99,95	0,05	3
	99,9	0,1	4
	99,7	0,3	5
Mäßige Entdeckungswahrscheinlichkeit	99,5	0,5	6
	99	1	7
	98	2	8
Geringe bis sehr geringe Entdeckungswahrscheinlichkeit	> 90	10	9
Keine Entdeckungsmöglichkeit (nicht geprüft bzw. prüfbares Merkmal)	0	100	10

#### Übung FME-01

1. Im QM gibt es 3 Arten von FMEA: System-, Prozess und Produkt-FMEA
2. - Vorbereitung,
  - Risikoanalyse,
  - Risikobewertung,
  - Maßnahmenbewertung und
  - Maßnahmenverfolgung.
3. - technische Abgrenzung des Betrachtungsgegenstandes,
  - Definition des Planungsstandes,
  - Analyse, Strukturierung des Betrachtungsgegenstandes bis zu fehlerrelevanten Komponenten und
  - Benennung Teamverantwortlicher, Moderator
4. Bildung der Risikoprioritätszahl (RPZ): Einstufung von Auftretenswahrscheinlichkeit (A), Risiko der Nichtentdeckung (E) und Bedeutung eines Fehlerzustandes (B), jeweils mit Ziffern von 1-10  
 $RPZ = A \times B \times E$
5. Der FMEA-Team-Moderator hat die Aufgaben:
  - Team auf Ziel „einzuschwören“,
  - Kreativität der Gruppe fördern,
  - Konfliktlösung betreiben,
  - Richtige Methodenanwendung sicherstellen.

## Formelsammlung

### MGF · Messgerätefähigkeitsuntersuchung (MgFU)

$$4 \times s_W + |\bar{x}_a - x_r| \stackrel{!}{\leq} \frac{T}{10} = \frac{OGW - UGW}{10}$$

Der 95,4%-Bereich der Messunsicherheit  $4 \times s_W$  entspricht der sogenannten Wiederholstreuung und soll laut „Goldener Regel der Messtechnik“ nicht mehr als 10 % der Toleranz verbrauchen. Zusammen mit der systematischen Abweichung  $|\bar{x}_a - x_r|$  kann diese Schranke gegebenenfalls auf 15% der Toleranz erweitert werden.

$$AL \stackrel{!}{\leq} \frac{T}{20} = \frac{OGW - UGW}{20}$$

Die Auflösung **AL** entspricht der kleinsten Skalenteilung zwischen zwei möglichen Messwerten bei analoger Anzeige. Bei digitalen Messgeräten richtet sich die Auflösung nach dem kleinsten Inkrement des Messwertgebers.

$$C_g = \frac{T \times 0,2}{4 \times s_W} \stackrel{!}{\geq} 1,33$$

Der Messgerätefähigkeitskennwert **C<sub>g</sub>** überprüft die Einhaltung der Anforderung bei der Beurteilung der Präzision. Dabei steht **C** für engl. Capability(Fähigkeit) und **g** für engl. gauge (Gebrauchsnorm, Lehre, Messuhr). Als Bezugsgröße gilt der übliche 95,4 %-Bereichs der Meßunsicherheit mit  $4 \times s_W$ .

$$C_{gk} = \text{Min} \left( \frac{(0,1 \times T + x_r) - \bar{x}_a}{2 \times s_W}; \frac{\bar{x}_a - (x_r - 0,1 \times T)}{2 \times s_W} \right) \stackrel{!}{\geq} 1,33$$

Der Messgeräte-Fähigkeitskennwert **C<sub>gk</sub>** wird für die Beurteilung der Genauigkeit berechnet und beinhaltet die systematischen und zufälligen Abweichungen.

$$T = OGW - UGW$$

Toleranzbereich.

$$s_W = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_a)^2}$$

Die Berechnung der Wiederholstandardabweichung  $s_W$  erfolgt zur Beurteilung der Präzision.

$$\bar{x}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Die Berechnung des Mittelwertes (Index **a** für accuracy = Richtigkeit) ist für die Beurteilung der Genauigkeit erforderlich.

### MFU · Maschinenfähigkeitsuntersuchung

$$C_m = \frac{T}{6 \times s} = \frac{OGW - UGW}{6 \times s} \stackrel{!}{\geq} 1,67$$

Berechnung des Maschinenfähigkeitskennwertes  $C_m$ , der aussagt, wie viel mal die Fertigungsstreuung in die Toleranz passt.

$$C_{mo} = \frac{OGW - \bar{x}}{3 \times s}$$

$$C_{mu} = \frac{\bar{x} - UGW}{3 \times s}$$

Berechnung der Grenzwerte des kritischen Maschinenfähigkeitkennwertes,  $C_{mo}$  (Oberer Zwischenwert) und  $C_{mu}$  (Unterer Zwischenwert) anhand von Mittelwert und Standardabweichung.

$$C_{mk} = \text{Min}(C_{mo}; C_{mu}) \stackrel{!}{\geq} 1,67$$

Der kritische Maschinenfähigkeitkennwert  $C_{mk}$  ist der kleinere – das Minimum – von beiden und damit grundsätzlich nicht größer als  $C_m$ .

$$s = +\sqrt{s^2} = +\sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Die rechnerische Ermittlung der Standardabweichung  $s$  berechnet sich aus der positiven Quadratwurzel der Stichproben-Varianz, die sich als Summe aller quadrierten Abweichungen zwischen den Merkmalswerten  $x$  und dem Mittelwert  $\bar{x}$ , geteilt durch den um eins reduzierten Stichprobenumfang, berechnen lässt.

$$\hat{u}_{OGW} = \frac{C_{mo}}{3} = \frac{OGW - \bar{x}}{s}$$

$$\hat{u}_{UGW} = \frac{C_{mu}}{3} = \frac{\bar{x} - UGW}{s}$$

Berechnung des Überschreitungsanteils durch die Umrechnung der Fähigkeitskennwerte in die sogenannte Standard-Normalverteilungvariable **u**.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_i$$

Der Mittelwert ist als Summe aller Merkmalswerte, geteilt durch den Stichprobenumfang, definiert.

$$x_{ob} = \mu + 3 \times s$$

$$x_{un} = \mu - 3 \times s$$

$$\mu \pm 3s = \sigma s - \text{Streubereich (99,73 \% Zufallsstreubereich)}$$

Beschrieben wird die Fertigungsstreuung durch den Fertigungsstreubereich zwischen den Grenzen. Die Grenzen bildet die untere Zufallsgrenze **xun** und die obere Zufallsgrenze **xob**.

### PFS · Prozessfähigkeit und Prozesssicherheit

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} = \frac{1}{m} \times \sum_{j=1}^m \bar{x}_j$$

Der Schätzwert für **μ** wird als Mittelwert der Stichproben-Mittelwerte berechnet.

$$\overline{s^2} = \frac{1}{m} \times \sum_{j=1}^m s_j^2$$

Berechnung der mittleren Varianz durch das Quadrieren jeder Stichproben-Standardabweichung **s**. Dadurch entstehen die Varianzen **s<sup>2</sup>**.

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\overline{s^2}}$$

Nur durch diesen Umweg über die mittlere Varianz kann ein sogenannter Berechnung des erwartungstreuen Schätzwertes der Prozess-Standardabweichung **σ**.

$$C_p = \frac{T}{6 \times \hat{\sigma}} = \frac{OGW - UGW}{6 \times \hat{\sigma}} \stackrel{!}{\geq} 1,33$$

Gilt für normalverteilte Prozesse  $6\hat{\sigma} = 99,73\%$  Zufallsstreuung einer Normalverteilung. Die Ermittlung des Prozessfähigkeitskennwertes  $C_p$  ist ein Maß für die potenzielle Qualitätsfähigkeit eines beherrschten Prozesses: Für nicht normalverteilte Prozesse erfolgt die Berechnung nach der Percentilmethode..

$$C_p = \frac{OGW - UGW}{O_{p3} - U_{p3}}$$

Die Ermittlung des Prozessfähigkeitskennwertes  $C_p$  nach dem Prinzip der Percentilmethode.

$$C_{po} = \frac{OGW - \hat{\mu}}{3 \times \hat{\sigma}}$$

$$C_{pu} = \frac{\hat{\mu} - UGW}{3 \times \hat{\sigma}}$$

Berechnung der Grenzwerte des kritischen Prozessfähigkeitskennwertes,  $C_{po}$  (Oberer Zwischenwert) und  $C_{pu}$  (Unterer Zwischenwert) anhand der Schätzwerte.

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{pu}; C_{po}) \stackrel{!}{\geq} 1,33$$

Ermittlung des kritischen Prozessfähigkeitskennwert  $C_{pk}$ , der als Verhältnis zwischen dem kritischen Abstand des Prozessmittelwertes zur halben Prozess-Streubreite definiert ist.

$$C_{pk} = \text{Min} \left( \frac{OGW - \mu}{O_{p3} - \mu}; \frac{\mu - UGW}{\mu - U_{p3}} \right)$$

Die Ermittlung des kritischen Prozessfähigkeitskennwertes  $C_{pk}$  nach dem Prinzip der Percentilmethode.

$$O_{p3} = \mu + 3 \times \sigma$$

$$U_{p3} = \mu - 3 \times \sigma$$

$$O_{p2} - U_{p2} \hat{=} 6\sigma$$

$6\sigma = 99,73\%$  Zufallsstreuung der Normalverteilung.

Alternative Berechnung von C für normalverteilte Prozesse:

$$C_{Pk} = (1 - k) * c_p \quad k = \frac{|z - \mu|}{\frac{T}{2}}$$

T= Toleranzbreite,  $|z - \mu|$  = Differenz zwischen Zielwert und Prozessmittelwert



---

**SPC · Statistische Prozesslenkung**

$$OEG = \mu + A_E \times \sigma$$

$$OWG = \mu + A_W \times \sigma$$

$$M = \mu$$

$$UWG = \mu - A_W \times \sigma$$

$$UEG = \mu - A_E \times \sigma$$

Berechnung der Eingriffs- und Warngrenzen einer Sollwert-QRK.

$$OEG = B_{OEG} \times \sigma$$

$$OWG = B_{OWG} \times \sigma$$

$$M = a_n \times \sigma$$

$$UWG = B_{UWG} \times \sigma$$

$$UEG = B_{UEG} \times \sigma$$

Standardabweichungskarte (s-Karte), die zur Streuungsüberwachung angelegt wird.

---

**SPS · Stichprobensysteme**

$$P(x) = \binom{n}{x} \times p^x \times q^{n-x}$$

Modell der Binomialverteilung - stellt die Wahrscheinlichkeit dar, x fehlerhafte UND (n-x) fehlerfreie Einheiten bei Entnahme einer Stichprobe von n Einheiten aus einer Grundgesamtheit mit einem Anteil fehlerhafter Einheiten p zu entnehmen.

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{(n-x)!x!}$$

Binomialverteilung gibt die Anzahl der Möglichkeiten an, fehlerhafte Einheiten aus der Stichprobe auszuwählen.

$$g(x) = g(x; n, p) = \binom{n}{x} \times p^x \times (1 - p)^{n-x}, \quad \text{für } 0 \leq x \leq n$$

Die Wahrscheinlichkeitsfunktion  $g(\mathbf{x})$  gibt Auskunft über die  $x$  fehlerhaften Einheiten die in einer Stichprobe in Abhängigkeit des Stichprobenumfangs  $n$  und des Fehleranteils im Los zu finden sind.

### ZUV - Zuverlässigkeitsprüfung

$$R(t \leq t_0) = 1$$

$$R(t > t_0) = \exp \left[ - \left( \frac{t - t_0}{T - t_0} \right)^b \right]$$

Die Zuverlässigkeitsfunktion  $R(\mathbf{t})$  der Weibullverteilung wird zur Berechnung der Zuverlässigkeit für die Nutzungsphase verwendet - Dreiparametrische Weibullverteilung.

$$F(t \leq t_0) = 0$$

$$F(t > t_0) = 1 - R(t) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t - t_0}{T - t_0} \right)^b \right]$$

Die Ausfallwahrscheinlichkeit wird nach der Ausfall-Verteilungsfunktion  $F(\mathbf{t})$  berechnet.

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{T} \right) \right]$$

Die Zuverlässigkeitsfunktion beschreibt den Vorfall, wenn keine ausfallfreie Zeit vorliegt und der Formparameter  $b=1$  lautet - Einparametrische Exponentialverteilung.

$$\text{MTTF} = T$$

Die charakteristische Lebensdauer  $T$  ist gleich der mittleren Lebensdauer **MTTF**.

$$\text{MTBF} = T$$

Die charakteristische Lebensdauer  $T$  ist gleich der mittlere Ausfallabstand **MTBF**.

$$\lambda = \lambda(t) = \frac{1}{T}$$

Die Ausfallrate  $\lambda(t)$  ist bei Zufallsausfällen konstant und entspricht dem Kehrwert der charakteristischen Lebensdauer.

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{T} \right)^b \right]$$

Die Zuverlässigkeitsfunktion beschreibt den Vorfall, wenn keine ausfallfreie Zeit vorliegt - Zweiparametrische Weibullverteilung.

$$t_j^* = t_j - \hat{t}_0$$

Verfahren zur Wiederholauswertung, sobald der Kennwert der ausfallfreien Zeit vorliegt.