

## Failure Mode and Effects Analysis

Ralf Mock, 5. Oktober 2015

# Lernziele

## Lernziele

### Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

### Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

### Tools

### Literatur

## Die Teilnehmenden können

- ▶ die Grundlagen der FMEA skizzieren
- ▶ verschiedene FMEA-Arten anwenden
- ▶ umfangreiche FMEA in der Praxis erstellen und die Ergebnisse einschätzen.

## Lernziele

## Grundlagen

### Ziel

### Einsatzgebiet

### Gründe

## Methodik

### Arbeitsschritte

### Ausfallarten

### Auswirkungen

### Häufigkeiten

### Arten

### Formblatt

### Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

### andere Bezeichnungen

- ▶ dt.: Ausfalleffektanalyse, Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse, (Analyse potentieller Fehler und Folgen)
- ▶ fr.: Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)

## Ziel einer Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

Qualitative Untersuchung von Einheiten auf Ausfallarten und deren Auswirkungen auf das übergeordnete System (induktive Fragestellung).



Quelle: [4]



## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## Gründe für eine FMEA

- ▶ Umsetzung von Unternehmenszielen (Null-Fehler-Produkte)
- ▶ steigende Kundenanforderungen (Einsatzbedingungen, Service)
- ▶ verschärfte gesetzliche Auflagen
  - innerhalb der Schweizer Störfallverordnung [1]
  - ISO 9001 [2]
  - DIN IEC 60812 [3]

## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

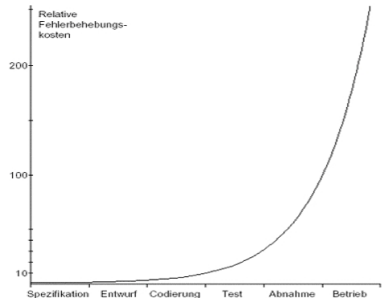
Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

Die FMEA ist ein Werkzeug der Fehlererkennung und -beurteilung. Da die Fehlerbehebungskosten im Projektverlauf progressiv zunehmen (Quelle: M. Glinz) rechnet sich der Aufwand für eine FMEA (vor allem bei der Herstellung von Grossserien). 80% aller Fehler, die im Einsatz von Einheiten auftreten, beruhen letztendlich auf Schwachstellen im Design (d.h. auf Entwicklung und Konstruktion). Viele Fehler sind Wiederholungsfehler [5].



## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## Arbeitsschritte

1. **Auflistung** aller Einheiten (E)
2. Identifizierung aller **Ausfallarten** für jede der in 1. aufgelisteten E
3. Bestimmung der Auswirkungen jeder **Ausfallart** auf andere E und Auswertung daraus resultierender Auswirkungen auf das System oder den Systemzustand
4. **Klassifizierung** nach Gefahr und Auswirkung für die einzelnen Ausfallarten
5. Ermitteln von Vorgehensweisen zur **Reduzierung** der Ausfallhäufigkeiten und Ausfallauswirkungen (Risikoverminderung)
6. Ausfüllen eines **Formblattes**, das die Ergebnisse der Arbeitsschritte 1. bis 5. zusammenfassend darstellt.

## Lernziele

## Grundlagen

### Ziel

### Einsatzgebiet

### Gründe

## Methodik

### Arbeitsschritte

### Ausfallarten

### Auswirkungen

### Häufigkeiten

### Arten

### Formblatt

### Risikoprioritätszahl

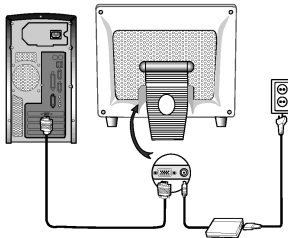
## Tools

## Literatur

## Ausfallarten

Vollständiges Bestimmen aller Ausfallarten einer E aus deren Funktionselementen.

**Beispiel: LCD-Monitor**



**bestehend aus**

- ▶ Gehäuse
- ▶ Ständer
- ▶ LCD-Schirm
- ▶ Steckverbindungen
- ▶ etc.



Lernziele

Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

Tools

Literatur

## Funktionselemente und Ausfallarten eines Monitors (Auswahl)

| Funktionselemente          | Ausfallarten  |
|----------------------------|---|
| Betrieb                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- lässt sich nicht einschalten</li> <li>- lässt sich nicht ausschalten</li> <li>- nicht geerdet</li> </ul>   |
| Bild                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- kein Bild</li> <li>- verzerrte Abbildung</li> <li>- Helligkeit (zu wenig/zu viel)</li> <li>- Kontrast (zu wenig/zu viel)</li> <li>- Flimmern und Schlieren etc.</li> </ul> |
| mechanische Unversehrtheit | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ständer zerbrochen</li> <li>- Bildschirm zerkratzt</li> </ul>  |

Lernziele

Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

Tools

Literatur

## Bestimmung der Auswirkungen

### Beispiel 1: Klassifikation für den Systemendzustand und seiner Auswirkungen

| Klasse | Systemzustand  | Bezeichnung            |
|--------|----------------|------------------------|
| 1      | sicher         | so gut wie unverändert |
| 2      | nicht kritisch | Teilausfall            |
| 3      | kritisch       | Vollausfall            |
| 4      | katastrophal   | überkritischer Ausfall |

Diese (und ähnliche) Klassifikationen hängen vom Analysezweck ab.

## Lernziele

## Grundlagen

## Ziel

## Einsatzgebiet

## Gründe

## Methodik

## Arbeitsschritte

## Ausfallarten

## Auswirkungen

## Häufigkeiten

## Arten

## Formblatt

## Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## Bestimmung der Auswirkungen

## Beispiel 2: Klassifikation der Ausfallauswirkung

| Klasse | Auswirkung  | Der Ausfall einer Einheit E führt   |
|--------|-------------|---|
|        | sehr schwer | zum Ausfall des Systems und zu schwerwiegenden Systemschäden oder zu schwerwiegenden Schädigungen von Personen              |
|        | schwer      | zum Ausfall des betrachteten Systems, aber nicht zu schwerwiegenden Systemschäden, jedoch zur Beeinträchtigung von Personen |
|        | gering      | zum Ausfall des betrachteten Systems, aber zu keiner Beeinträchtigung von Personen  |
|        | sehr gering | zu keinem Ausfall des betrachteten Systems und zu keiner Beeinträchtigung von Personen                                      |

Systemschäden bedeuten auch, dass bestimmte Dienste nicht mehr zur Verfügung stehen oder Assets betroffen sind

Lernziele

Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

Tools

Literatur

## Klassifikation der Häufigkeiten

| Klasse                  | Häufigkeit der Ausfallart                          |
|-------------------------|--|
| wahrscheinlich          | $> 1x$ Versagen in $10^4$ Betriebsstunden          |
| ziemlich wahrscheinlich | $1x$ Versagen in $10^4$ bis $10^5$ Betriebsstunden |
| selten                  | $1x$ Versagen in $10^5$ bis $10^7$ Betriebsstunden |
| sehr selten             | $< 1x$ Versagen in $10^7$ Betriebsstunden          |

## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## FMEA-Arten und Zusammenhänge

| FMEA                       | untersucht  |
|----------------------------|---|
| System-                    | Einheiten (Komponenten, Baugruppenuntersysteme) eines Systems auf Funktionstüchtigkeit. Die Fehlerarten beziehen sich auf die Einheiten als Ganzes, d.h. Schnittstellen-Funktionen zwischen den einzelnen Einheiten |
| Konstruktions-<br>Produkt- | Einheiten (Komponenten, Baugruppen und Teile selbst) hinsichtlich der Erfüllung beschriebener Teilfunktionen. Sie kann einen Fertigungsprozess als Ausfallursache beinhalten  |
| Prozess-                   | die Tätigkeit, den Arbeitsschritt (-position) innerhalb einer Arbeitsfolge oder Prozesses.  |

## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Ausfüllen eines Formblattes

System: ...

Ausgangszustand:

Ungestörter Betrieb

Umgebungsbedingungen:

Aussentemperatur 10 bis 30°C

Unterlagen:

Zeichnungs-Nr. ...

## typisches FMEA-Formblatt

| Nr. | Einheit | Ausfallarten | Häufigkeit von (3) | Ausfallerkennung von (3) | vorhandene Massnahmen gegen (3)       | Ausfallauswirkungen von (3)                          | Bem. zu (7) | Auswirkung/ Systemzustand |
|-----|---------|--------------|--------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|-------------|---------------------------|
| 1   | 2       | 3            | 4                  | 5                        | 6                                     | 7  | 8           | 9                         |
| 1   | Monitor | Flimmern     | wahrsch.           | Sichtkontrolle           | periodischer Austausch, Ersatzmonitor | höhere Fehlerhäufigkeit                              | –           | sehr gering/ sicher       |
|     |         | kein Bild    | selten             | Sichtkontrolle           | periodischer Austausch, Ersatzmonitor | kurze Netzzuverlässigkeit (Patching unmöglich, u.a.) | –           | schwer/ nicht kritisch    |
| ... | ...     | ...          | ...                | ...                      | ...                                   | ...  | ...         | ...                       |

## Tools

## Literatur

## industrielle Anwendung (gem. VDA [5])

Lernziele

Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

Tools

Literatur

| Kopfdaten: .....   |                           |  |   |  | Produkt-/Prozess-Benennung  |   |   |   |             | Ersteller/Ausgabestand etc                           |                        |                                   |    |    |              |             |  |  |  |
|--|---------------------------|--|---|--|---|---|---|---|-------------|--|------------------------|-----------------------------------|----|----|--------------|-------------|--|--|--|
| Konstruktions-FMEA <input type="checkbox"/> Prozess-FMEA <input checked="" type="checkbox"/> |                           |  |   |  | DERZEITIGER ZUSTAND   |   |   |   |             | VERBESSERTER ZUSTAND                                 |                        |                                   |    |    |              |             |  |  |  |
| Systeme/<br>Merkmale   | potentielle<br>Fehler     | pot. Folgen<br>des Fehlers   | D | pot. Fehler-<br>ursachen                     | vorge-<br>sehene<br>Prüfmass-<br>nahmen                               | A | B | E | R<br>P<br>Z | empfohlene<br>Abstellmass-<br>nahme                  | Verantwor-<br>lichkeit | getroffene<br>Massnahme           | A  | B  | E            | R<br>P<br>Z |  |  |  |
| 1  | 2                         | 3  | 4 | 5  | 6   | 7 | 8 | 9 | 10          | 11   | 12                     | 13                                | 14 | 15 | 16           | 17          |  |  |  |
| Spule wickeln<br>(gem. An-<br>weisung<br>xy)   | Windungs-<br>zahl zu hoch | Spulenwider-<br>stand zu hoch<br>- Rel. zieht<br>nicht an<br>- Ausfall | - | Zähler für<br>Windungs-<br>zahl setzt<br>aus | Zähler peri-<br>odisch<br>kalibrieren                                 | 6 | 8 | 8 | 384         | Zählergetriebe<br>säubern                            | W. Erwolf              | neuer Zähler<br>+ Regelung<br>Nr. | 2  | 8  | 4            | 64          |  |  |  |
| <b>Wo</b><br>könnte etwas<br>nicht i. O. sein?   |                           |  |   |  | <b>Welche</b><br>Massnahmen sind<br>bez. Serienfertigung<br>vorsehen? |   |   |   |             | <b>Welche</b><br>Massnahmen<br>wurden<br>realisiert? |                        |                                   |    |    |              |             |  |  |  |
| <b>Wie</b><br>könnte sich der<br>Fehler<br>äussern?  |                           |  |   |  | <b>Welches</b><br>Risiko<br>(A, B, E, RPZ)?                           |   |   |   |             | <b>Welches</b><br>Risiko (A, B, E, RPZ)?             |                        |                                   |    |    |              |             |  |  |  |
| <b>Was</b><br>könnte im<br>Fehlerfall<br>passieren?  |                           |  |   |  | <b>Warum</b><br>würde der Fehler/ die<br>Folge entstehen?             |   |   |   |             | <b>Was sollte wer bis wann</b><br>erledigen?         |                        |                                   |    |    |              |             |  |  |  |
| Fehlerbeschreibung   |                           |  |   |  | Bewertung   |   |   |   |             | Empfehlung/Kontrolle                                 |                        |                                   |    |    | Neubewertung |             |  |  |  |

Lernziele

Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

Tools

Literatur

## Erläuterungen zu den Spalten im FMEA-Formblatt nach VDA

- ▶ **Spalte 1: Baugruppe/Teil; Prozess/Arbeitsschritt**
- ▶ **Spalte 2: Ausfall-, Fehlerart**
  - auflisten jedes Fehlers (ein Fehler kann, muss aber nicht auftreten)
  - einschl. Fehler, die erst unter Gebrauchs-, Betriebsbedingungen und Umwelteinflüssen auftreten.
- ▶ **Spalte 3: Fehlerfolgen**
  - Annahme, dass ein Fehler aufgetreten ist
  - worst case-Ansatz



## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

### ► Spalte 4: Control Item D

- Kurzzeichen, ob es sich um eine sicherheitsrelevante, dokumentationspflichtige Einheit oder Arbeitsschritt handelt ([j/n]).

### ► Spalte 5: Fehlerursachen

- auflisten jeder bekannten oder gedachten Fehlerursache, die dem zugrundeliegenden Fehler und seinen Folgen zugeordnet werden kann
- evtl. gliedern nach: Mensch, Maschine, Material, Methode, Mitwelt („5M“).

## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

**Formblatt**

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## ► Spalte 6: Verhütungs-/Prüfmassnahmen

- eintragen der Fehlerverhütungs- und/oder Prüfmassnahmen, die bereits im Einsatz sind
- bei Neuentwicklungen: „geplante“ Massnahmen.

## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## Spalte 7: Auftreten A

| BZ     | Klasse      | Design  |
|--------|-------------|---|
| 1      | kein        | robustes Design; alle erforderlichen Design-Massnahmen berücksichtigt. Fehler(-ursache) tritt nicht auf.                                |
| 2 – 3  | sehr gering | Design entspricht bewährten und erprobten Entwürfen. Die wichtigsten Design-Massnahmen wurden berücksichtigt.                           |
| 4 – 6  | gering      | Design entspricht früheren Entwürfen mit geringen Schwachstellen. Die wichtigsten Design-Massnahmen wurden berücksichtigt               |
| 7 – 8  | mässig      | Design ist problematisch. Vergleichbare Lösungen führten wiederholt zu Fehlern. Wichtige Design-Massnahmen wurden nicht berücksichtigt. |
| 9 – 10 | hoch        | Design sehr unsicher. Keine vergleichbaren Lösungen verfügbar/berücksichtigt. Design-Massnahmen in geringem Umfang berücksichtigt.      |

BZ: Bewertungsziffer

## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## Spalte 8: Bedeutung B

| BZ     | Klasse      | Auswirkung              | Kunde   | System  |
|--------|-------------|-------------------------|---|---|
| 1      | kein        | keine; kaum wahrnehmbar | bemerkt Fehler wahrscheinlich nicht   | –   |
| 2 – 3  | gering      | unbedeutend             | nur geringfügig betroffen   | Kunde wird wahrscheinlich nur eine geringe Beeinträchtigung des Systems bemerken  |
| 4 – 6  | mässig      | mässig schwer           | Unzufriedenheit; fühlt sich verärgert   | Kunde wird Beeinträchtigung des Systems/der Bearbeitbarkeit bemerken, z. B. Nachbesserung, erschwerte Bedienbarkeit     |
| 7 – 8  | schwer      | schwer                  | grosse Verärgerung; nicht betriebsbereites Produkt, nicht funktionierende Teile; nicht weiterverarbeitbar | Sicherheit oder eine Nichtübereinstimmung mit den Gesetzen ist noch nicht angesprochen                                  |
| 9 – 10 | sehr schwer | äusserst schwerwiegend  | –   | Betriebsausfall des Produktes (B=9); beeinträchtigt die Sicherheit bzw. die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften (B=10) |

## Lernziele

## Grundlagen

Ziel  
Einsatzgebiet  
Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte  
Ausfallarten  
Auswirkungen  
Häufigkeiten  
Arten  
Formblatt  
Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## Definition: Kunde

- ▶ ist immer derjenige, bei dem der ungünstigste Fall auftreten kann
  - K-FMEA: (meist) Endbenutzer des Produktes
  - P-FMEA: jeweils der letzte Arbeitsschritt, bei dem der Fehler zu Störungen der Weiterbearbeitung führen kann.
- ▶ Bei D-Forderung (Spalte 4 = „ja“) ist  $B = 10$
- ▶ Die BZ kann nur durch Konstruktions-Änderungen verbessert werden.

## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## Spalte 9: Entdeckbarkeit (vor Auslieferung an den Kunden) E)

| BZ    | Klasse      | Erläuterung   |
|-------|-------------|---|
| 1     | hoch        | Fehlerursache (-art), die im betrachteten oder nächsten Arbeitsschritt zwangsläufig entdeckt wird |
| 2 – 5 | mässig      | augenscheinliches Merkmal. Automatische Sortierprüfung eines einfachen Merkmals                   |
| 6 – 8 | gering      | benötigt traditionelle Prüfung (Test, Versuche, Stichprobenprüfung attributiv oder messend)       |
| 9     | sehr gering | schwer zu erkennendes Merkmal   |
| 10    | keine       | Die Fehlerursache (-art) wird nicht geprüft oder kann nicht geprüft/erkannt werden.               |

**Anmerkung:** Die Entdeckbarkeit wird nicht bei allen Risikoanalysen verwendet (wg. Risikodefinition)

Lernziele

Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

Tools

Literatur

## Entdeckbarkeit E

### E ist

- ▶ vom Zeitpunkt der betrachteten Arbeitsphase (K, P) aus zu sehen
- ▶ durch Änderungen des Designs (Konstruktion), der Prozesse oder der Prüfungen verbesserbar.

### Bewertungsziffern

- ▶  $E > 1$ : Fehler, die erst im mindestens übernächsten Arbeitsschritt entdeckt werden (z. B. Kostengründe)
- ▶  $E = 9$ : Design-Fehler, erst beim internen Kunden entdeckt (Fertigungsfehler)
- ▶  $E = 10$ : Fehler erst beim externen Kunden entdeckt (Folgekosten); Lebensdauerursachen

## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## Spalte 10: Risikoprioritätszahl RPZ

$$RPZ = A \cdot B \cdot E$$

wobei

- ▶ A: Auftretenshäufigkeit
- ▶ B: Bedeutung (= Konsequenzen, Folgen)
- ▶ E: Entdeckbarkeit

## RPZ nach VDA

- ▶  $RPZ_{min} = 1$
- ▶  $RPZ_{mittel} = 5 \cdot 5 \cdot 5 = 125$
- ▶  $RPZ_{max} = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000$



## Lernziele

## Grundlagen

Ziel  
Einsatzgebiet  
Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte  
Ausfallarten  
Auswirkungen  
Häufigkeiten  
Arten  
Formblatt  
Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

## Anmerkungen

- ▶ Die RPZ dient als Orientierungsgrösse und zur Prioritätensetzung. Einen allgemeinen Grenzwert festzulegen ist nicht sinnvoll.
- ▶ immer in Kombination mit den Einzelwerten beurteilen
- ▶ RPZ mit grossem A sind vorrangig zu bearbeiten
- ▶  $A \geq 8$  und/oder  $B \geq 8$ : intensive Betrachtung empfehlenswert.

Lernziele

Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

Tools

Literatur

## Tools (Auswahl)

- ▶ IQ-FMEA: [APIS Informationstechnologien GmbH](#)
- ▶ IHS FMEA-Pro [IHS](#)
- ▶ FMECA, FMEA: [isograph Ltd](#)
- ▶ XFMEA: [ReliaSoft Corp.](#)
- ▶ CIMOS FMEA: [MBFG GmbH & Co. KG](#)

## Software-Analyse

- ▶ Software Failure Modes Effects Analysis (SFMEA):  
[SoftRel](#)

## Lernziele

## Grundlagen

Ziel

Einsatzgebiet

Gründe

## Methodik

Arbeitsschritte

Ausfallarten

Auswirkungen

Häufigkeiten

Arten

Formblatt

Risikoprioritätszahl

## Tools

## Literatur

- [1] BUWAL: *Handbuch 1 zur Störfallverordnung StFV: Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen oder Sonderabfällen, Vol. 1.*  
EDMZ, Juni 1991.
- [2] DIN-9001: *Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001:2000-09).*  
Beuth Verlag, Dezember 2000.
- [3] DIN-IEC-60812: *Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen – Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) (E DIN IEC 60812: 2006-11).*  
Beuth Verlag, November 2006.
- [4] SCHIEGG, H., M. VIERTLBÖCK and T. KRAUS: *Prozessebegleitend und frühzeitig: System-Produkt-FMEA mit objektiver Kennzahlbildung bei einem Automobilzulieferer.*  
QZ Qualität und Zuverlässigkeit, 7, 1999.
- [5] SCHUBERT, M.: *FMEA – Fehlmöglichkeits- und Einflussanalyse.*  
DGQ-Schrift 11-13. Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V., 1993.