

# KRITISCHE BETRACHTUNG UND VERBESSERUNG DER FMEA

Alois Breiing, Andreas Kunz

## Zusammenfassung

Die FMEA (Failure Mode and Effect Analysis = Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse [5], [7]) ist eine anerkannte Methode, um schon während der Produktentwicklung Fehler zu erkennen und zu eliminieren. Konsequenterweise durchgeführt, werden mit dieser Methode viele Fehler bzw. Fehlerquellen entdeckt und nachhaltig beseitigt. Aufgrund der Tatsache, dass die FMEA jedoch bislang nicht alle Fehler bzw. Fehlerquellen im Produktentwicklungsprozess abdeckt und insbesondere auch den Menschen während der Nutzungsphase, d. h. Inbetriebnahme bis Entsorgung, als eine der bedeutendsten Fehlerquelle unberücksichtigt lässt, ist sie hinsichtlich Effektivität und Effizienz noch nicht zufriedenstellend und hat noch nicht die ihr gebührende Akzeptanz erlangt.

Der vorliegende Aufsatz beinhaltet Gedanken und Ansätze dazu, wie diesen oben erwähnten Problemen begegnet werden kann und welche Einflüsse bzw. Abweichungen sich daraus für zukünftig durchzuführende FMEA-Sitzungen herleiten.

## 1 Einleitung

Die konservativ angewendeten drei Teilmethoden der FMEA werden in der Regel voneinander unabhängig und häufig von unterschiedlichen Personengruppen durchgeführt [6]. Bild 1 zeigt eine Übersicht über den Innovationsprozess und darin integriert die drei unterschiedlichen Teilmethoden der FMEA.

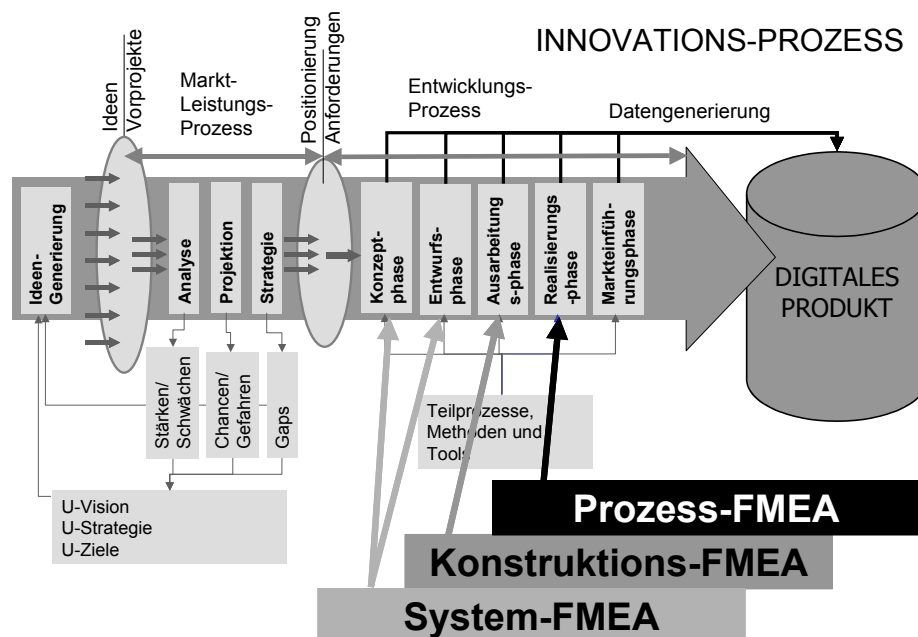


Bild 1. Eingliederung der FMEA-Teilmethoden in die Produktentwicklung.

Die Komplexität vieler Produkte allein durch ihren mechatronischen Charakter, aber auch das verstärkte Simultaneous Engineering, welches durch starke Parallelisierung gekennzeichnet ist, macht es schwierig, diese Trennungen bei der Durchführung einer FMEA konsequent zu berücksichtigen. Ausserdem werden in vielen FMEA-Sitzungen mehr und mehr alle drei Bereiche in gemischter Fragestellung behandelt [6]. Es ist also zu hinterfragen, ob die in Bild 1 dargestellte Unterteilung überhaupt noch sinnvoll ist. Neben dieser rein produktbezogenen Sichtweise ist die Methode ausserdem durch neue Fragestellungen bzw. Erkenntnisse wie beispielsweise infolge der Annäherung des vornehmlich gestaltorientierten Produkt-Designs an die konventionelle, d. h. hauptsächlich funktionsorientierte, Konstruktion zu erweitern.

## 2 Neue Ansätze

In diesem Kapitel werden die bekannten Schwachstellen beleuchtet und Verbesserungen vorgeschlagen.

Die Beobachtung durchgeführter FMEA-Sitzungen in den Firmen zeigt, dass keine klare Trennung in die drei in Bild 1 aufgeführten Bereiche durchführbar bzw. nicht sinnvoll ist. Dies liegt im wesentlichen darin begründet, dass ein einmalig unterlaufener Fehler Auswirkungen auf die System-, die Konstruktions- und die Prozess-FMEA haben kann.

Viele Produkte sind so komplex, dass eine Fehlerbeseitigung in einem Bereich neue Fehler im gleichen oder in anderen Bereichen zur Folge haben kann. Die Fehlerursache bei einer System-FMEA wird zur Fehlerart bei einer Konstruktions-FMEA und zur Fehlerauswirkung bei einer Prozess-FMEA. Dieser Sachverhalt birgt die Gefahr, dass potentielle Fehlerquellen während des Konstruktionsprozesses übersehen werden können. Da ausserdem methodenkonform eine System-FMEA vor einer Konstruktions-FMEA durchgeführt wird, kann dieser neue Einfluss in das System und seine Auswirkungen nicht mehr in die Fehlerbetrachtung einfließen. Erst eine später durchzuführende Prozess-FMEA würde die eigentliche Fehlerquelle aufdecken. Auch hier gilt, dass die Einflüsse aus einer Mängelbehebung an dieser Stelle nicht mehr bei der System- oder/und der Konstruktions-FMEA betrachtet werden.

In den meisten Fällen wird aufgrund des Zeitdrucks die logische Abfolge aller drei FMEA-Teilmethoden nicht durchgeführt, so dass Fehlerquellen unentdeckt bleiben. Selbst bei einer systematischen Durchführung aller drei FMEA-Teilmethoden bewirken psychologische Effekte des Menschen, dass er sich ungern mit einem Fehler befassen möchte, der bereits besprochen worden ist, wenn auch aus einer anderen Sicht. Durch diese sinkende Bereitschaft des Menschen sinkt wiederum die Effizienz der Methode.

Aus diesen Gründen ist es nicht sinnvoll, eine Trennung der einzelnen FMEA-Teilmethoden durchzuführen. Es liegt vielmehr die Forderung nahe, alle drei Teilmethoden gleichzeitig durchzuführen, um damit Synergien der Gruppendiskussion nutzen zu können. Einflüsse, die Änderungen in einen Bereich auf andere haben, werden dann leichter erkennbar. Denn die Einbindung eines Bauteiles in ein Gesamtsystem, seine funktions- und gestaltungsorientierte Auslegung sowie sein Herstellungsprozess wurden bereits vom Entwickler als geschlossene Einheit angesehen. Somit erscheint auch eine FMEA über eine solche geschlossene Einheit als sinnvoll. Die umfassende Betrachtung des Produktes, seiner Bauteile und seiner Funktionsweise über den kompletten Entwicklungsprozess hinweg ermöglicht es dann, noch umfassender Fehler zu erkennen.

Generell fehlen in der FMEA-Philosophie die frühen Phasen der Produktentwicklung sowie die Phasen während und nach der Markteinführung. Die bereits angesprochenen Vorlauf-

Phasen (Ideen-Generierung und Markt-Leistungs-Prozess) beinhalten jedoch viele Fehlerquellen, die Erfolg oder Misserfolg (nicht nur "technischer Natur") einer Produktentwicklung sehr stark vorprogrammieren. Ausserdem werden innerhalb des Entwicklungsprozesses selber einschliesslich des Prozesses der Datengenerierung wesentliche Fehlerquellen unberücksichtigt gelassen.

Derartige mögliche zusätzliche Fehlerquellen können beispielsweise aufgedeckt werden durch:

- Feasibility-FMEA (FMEA zur Analyse der Fehlermöglichkeiten bei den Zielvorstellungen)
- Plausibilitäts- bzw. Relationen-FMEA (FMEA zur Analyse der Fehlermöglichkeiten bei den Anforderungen [4])
- Benutzungs-FMEA (generiert aus der Benutzungsanalyse [1])
- Benutzer-FMEA (FMEA zur Analyse der Fehlermöglichkeiten des „fehlbaren“ Menschen [2], [3] bzw. der Frage, wo der „fehlbare“ Mensch durch eine ihn entlastende Automation ersetzt werden kann)
- Funktions-FMEA (FMEA zur Analyse der Funktionserfüllung – wie bisher)
- Bauteil-/Baugruppen-FMEA (FMEA zur Analyse des Bauteils/der Baugruppe und seiner/ihrer Bedeutung bzw. Sinnfälligkeit)

Diese Detaillierung lässt sich weiter herunterbrechen, so dass für jede Teilphase innerhalb des Produktentwicklungsprozesses die Durchführung einer FMEA denkbar wird. Die diskursive Vernetzung aller Arbeitsschritte im Produktentwicklungsprozess zeigt, dass eine phasenabhängige Aufteilung der FMEA wenig sinnvoll ist. Stattdessen ist eine kontinuierliche, prozessbegleitende FMEA sinnvoll, die bei gleichbleibender Zielsetzung analog zum Wissensstand in der fortlaufenden Produktentwicklung einen immer grösser werdenden Konkretisierungs- und Detaillierungsgrad erhält. Mit der Konkretisierung und dem damit verbundenen Wissenszuwachs ist auch die Gefahr eines Fehlerzuwachses gegeben, wodurch der Anspruch auf ihre Erkennung und Behebung wächst. Auch dies spricht für eine kontinuierliche FMEA (vgl. Bild 2).

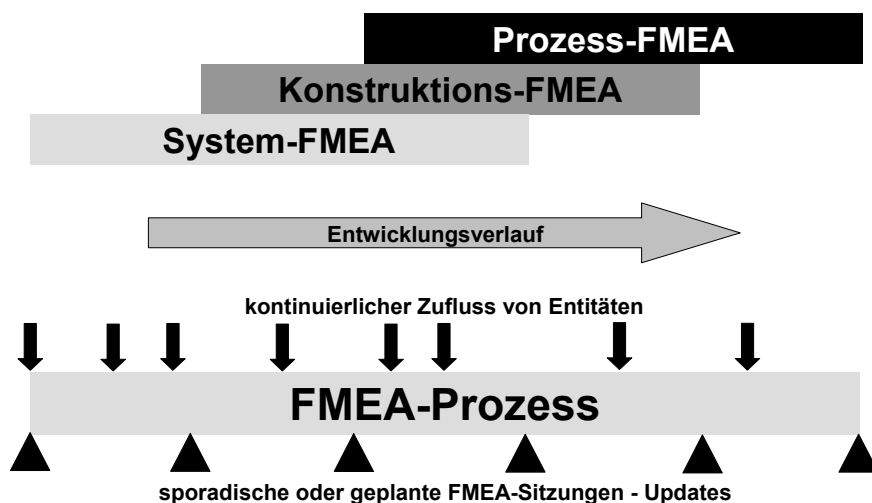


Bild 2. FMEA, gegliedert in Teilmethoden oder als kontinuierlicher Prozess?

Eine solche Kontinuität bringt nachweislich dann die besten Ergebnisse, wenn auch der die FMEA durchführende Personenkreis im Kern unverändert bleibt. Die hiermit implizierte Forderung, dass beispielsweise Fertigungs- oder Qualitätssicherungskompetenz bereits in der Konzeptphase in die FMEA involviert sein muss, hat sich in der Praxis als positiv erwiesen. Dies widerspricht nicht der Forderung, dass für spezifische Fragestellungen temporär Spezialisten herbeigezogen werden müssen. Ein zusätzlicher Nutzen besteht darin, dass alle Teammitglieder das Produkt besser kennenlernen.

In einem weiteren Schritt muss der Mensch in seiner Unvollkommenheit als Benutzer, Reparateur usw. während der Produktlebensdauer in die FMEA einbezogen werden. Er ist Bestandteil eines Systems, er beeinflusst alle Prozesse, beginnend von der Ideenfindung über die Entwicklung und Benutzung bis hin zur Ausserbetriebnahme und darüber hinaus. Die von ihm in allen Phasen verursachbaren Fehler werden bislang in keiner FMEA berücksichtigt. Mit der Einbindung der alle Produktlebensphasen erfassenden und ohnehin verfügbaren Benutzungsanalyse [1] sind auch die Montage-, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten mit ihren möglichen Fehlerquellen erfasst (vgl. Bild 3).

Das Beispiel zeigt, wie durch den Einbezug des Menschen und durch seinen Umgang mit dem Produkt neue Fehler entdeckt werden und wie diese Erkenntnisse Auswirkungen haben können, beispielsweise auf den Herstellungsprozess. Um diese potentiellen Fehlerquellen ebenfalls systematisch erfassen zu können, wird die FMEA um einen weiteren Gedankenkomplex, nämlich den der Integration der Benutzungsanalyse, erweitert, wobei die zu betrachtenden Entitäten der tabellarischen Erfassung der Mensch-Maschine-Schnittstellen zu entnehmen sind.

Benutzungsanalyse Nussknacker					
Nr.	Teilfunktionen erster Ordnung	Mensch-Produkt-Beziehung; erforderl. Tätigkeiten	Mensch-Maschine-Schnittstelle	hergeleitete Anforderung	erforderl. Funktionen bzw. mögliche Funktionsträger
1	Finden (des Objektes)	Nussknacker Suchen Erfragen Finden	Auge-Objekt Tastsinn-Objekt	wahrnehmbar gestalten erkennbar gestalten Leuchtfarbe vorsehen	Farbe Kontrastfarben Reflexionsgrad
2	Transportieren/ Plazieren (des Objektes)	Nussknacker erfassen anheben tragen abstellen <i>entsichern</i>	Hand-Griff Hand-Objektkörper Auge-Hand-Griff	geringes Gewicht ergonomischer Griff griffige Flächen "Knack-Sicherung" stabiler Stand	Leichtbaukonstruktion Griff Griff=Hebel geriffelte Fläche Standfläche
3	Bestücken (mit Nuss)	Nussknacker öffnen Nuss einlegen	Hand-Objekt Hand-Nuss	leicht bestückbar sicher bestückbar	Mulde Anschlag
4	Fixieren (der Nuss)	Nuss festhalten gegen Anschlag drücken Nuss festklemmen	Finger-Nuss Hand-Nuss Auge-Finger-Nuss	leicht hantierbar sicher fixierbar Fixierkraft begrenzen	Mulde Spannpratze Schraubzwinge
5	(Öffnungs-)Kraft erzeugen	Hebel bewegen auf Ambos schlagen Knauf drehen	Hand-Hebel Faust-Ambos Hand/Finger-Knauf	Kraft sicher einleiten Finger/Hand-Spannweite beachten	Griff Hebel Pedal
6	Kraft weiterleiten, verstärken	<i>innere Funktion</i>	<i>/.</i>	Kraft-Grösse [N] Weg-Länge [mm] Kraft/Weg begrenzen	Hebel Keil Schraube
7	Nuss öffnet sich d. - Druck - Keilwirkung - ...	<i>innere Funktion</i>	<i>/.</i>	<b>Wahl preiswert verwirklichter und wirkender Effekte</b>	Druckplatten, -flächen Keile Schneide Spannschraube
8	(Ergebnis) entnehmen	geknackte Nuss entn. Schale und Nuss entn.	Finger-geknackte Nuss Hand-geknackte Nuss Auge-Finger-gekn. Nuss	leicht entnehmbar sicher entnehmbar	Auffangschale, Sack, Becken Klappe zur Entnahme Öffnung
9	Reinigen	Nussknacker festhalten Knackraum ausschütteln Nussraum auswischen	Hand-Nussknacker Finger/Hand-Wischgerät	leicht hantierbar leicht erreichbare Ecken pflegeleichte Oberfläche	"Raumgestaltung" Oberflächenform Oberflächenrauigkeit

Bild 3. Benutzungsanalyse zur Entwicklung eines Nussknackers.

### 3 Weitere Verwendung von FMEA-Resultaten

In der Konzept- und Entwurfsphase liegen normalerweise mehrere Entwurfsvarianten bzw. -alternativen vor, die einer Bewertung zur Feststellung der besten Lösung unterzogen

werden. Sofern in diese Bewertung bereits das Kriterium „Risiko“ einfließt, macht es Sinn, die Summe der ermittelten RPZ pro Lösung innerhalb früher Risikoanalysen aufzunehmen.

Die Zusammenhänge zwischen Akzeptanz, Risiko und Bewertung zeigt Bild 4.

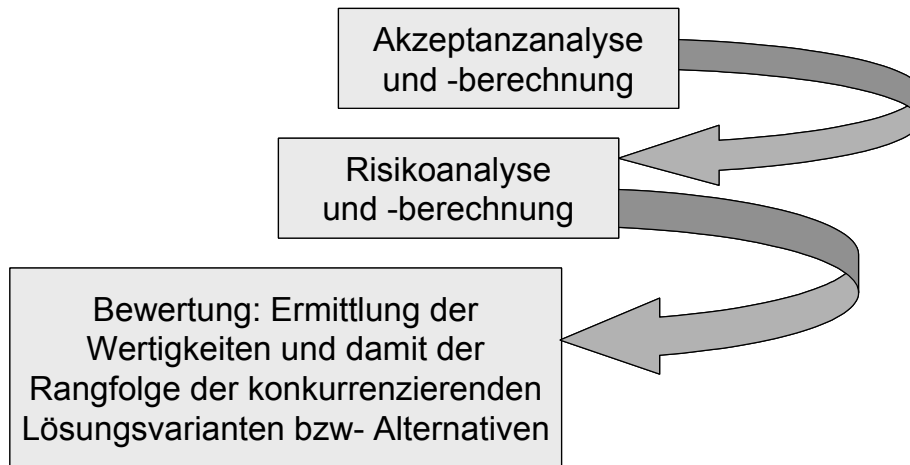


Bild 4. Zusammenhänge zwischen Risiko und Bewertung.

## 4 Zusammenfassung

Da jede Produkt-Entität in jedem FMEA-Teilprozess ein Fehlerpotential besitzen kann, ist eine Trennung nach FMEA-Teilprozessen nicht sinnvoll. Stattdessen wird eine Durchführung über alle Phasen bzw. Teilphasen eines Entwicklungsprozesses als kontinuierlicher Vorgang vorgeschlagen, bei dem jede als verantwortlich und kompetent identifizierte Person jederzeit Inputs beitragen und Zugriff auf die FMEA-„Dokumentation“ haben muss. Diese Personen müssen während des ganzen Entwicklungsprozesses in der FMEA involviert sein, ein Austausch über der Zeitsache ist nicht sinnvoll.

Weiterhin wird eine Erweiterung der FMEA durch den Aspekt des Menschen vorgeschlagen. Vorzugweise sollen hier Ergebnisse aus der Benutzungsanalyse dazu verwendet werden, mögliche Fehlerquellen, die durch die Benutzung eines Produktes durch den Menschen entstehen, frühzeitig erkennen zu können.

Die FMEA dient nicht nur der Fehlererkennung und den damit bedingten Massnahmen zur Fehlerbehebung oder -vorbeugung. Ihre Ergebnisse sollten auch in der gesamten Bewertungskomplex einfließen, denn die Kenntnis der Produktsensibilität, also der Bandbreite von Fehleranfälligkeit bis hin zur Robustheit sind durchaus ein Mass der Kriterien für eine Akzeptanzanalyse, einer Risikoanalyse oder für die Ermittlung der Wertigkeit bei sich konkurrierend gegenüberstehenden Produktvarianten bzw. -alternativen.

## 5 Zukünftige Schritte

Weiterführende Arbeiten werden sich damit beschäftigen, die vorgeschlagenen Änderungen in der FMEA-Methodik an praktischen Beispielen zusammen mit der Industrie weiter zu evaluieren. Dabei sollen insbesondere Erfahrungswerte gesammelt werden, welche Fortschritte der Einbezug der menschlichen Fehlerquellen in die FMEA bringt.

Nach einer erfolgreichen Durchführung dieser Evaluationsphase sollten die Erkenntnisse in neue oder bestehende FMEA-Software umgesetzt werden, so dass eine schnelle und einfache Umsetzung der FMEA in der Praxis möglich wird [8], [9].

## 6 Literatur

- [1] A. Breiing, Vertiefungsvorlesung Produkte-Design; ETH Zürich, IMES, Zürich 2000
- [2] A. Breiing, The Evaluators Influence on the Results of Evaluation, First International Workshop on Multicriteria Evaluation, Neukirchen 2000
- [3] A. Breiing, Who evaluate the Evaluators? International Conference on Computer Integrated Manufacturing, Zakopane (PL) 2001
- [4] A. Breiing, R. Knosala, Bewerten technischer Systeme; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1997
- [5] DIN 25448, Ausfalleffekt-Analyse; Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin 1978
- [6] G. Kersten, Matrix-FMEA, Grundseminar für System-, Konstruktions- und Prozess-FMEA; Vaihingen/Enz 1998/2000
- [7] MIL 1629A, Procedures for Performing a failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA); Military Standard, USA 1980
- [8] APIS GmbH, IQ-FMEA V3.5; The Knowledge Base, 1992 – 1998
- [9] S. Frei, Erstellung eines FMEA - Software-Prototypen mit integrierter Visualisierung und Datenbankankopplung; Diplomarbeit ETH Zürich 2000

Prof. Dr. habil. Alois Breiing  
Dr. Andreas M. Kunz  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich  
Center of Product Development  
Tannenstrasse 3  
CH-8092 Zürich  
Tel: +41 1 632 5771  
Fax: +41 1 632 1181  
Internet: [breiing@imes.mavt.ethz.ch](mailto:breiing@imes.mavt.ethz.ch)  
[kunz@imes.mavt.ethz.ch](mailto:kunz@imes.mavt.ethz.ch)