

Fehler vermeiden mit System

Mit rechnergestützter Matrix-FMEA

die kritischen Punkte von Produkten und Prozessen finden

Günter Kersten, Vaihingen

Die seit längerer Zeit in vielen Branchen eingesetzte FMEA erweist sich häufig als zu aufwendig und nicht genügend wirksam. Mit rechnergestützter Matrix-FMEA für kleine und mittelständische Unternehmen werden Vollständigkeit und Wirksamkeit der FMEA sichergestellt und überprüft. Die im Rahmen der Zertifizierung von QM-Systemen gestellten Forderungen können erfüllt werden.

Die wesentlichen Schwierigkeiten bei der bisherigen Durchführung der FMEA betreffen ihre Wirksamkeit sowie ihre Einfachheit und Schnelligkeit [1]:

- ▶ Die methodischen Zusammenhänge z.B. zwischen Fehlern, Gegenmaßnahmen und Risikobewertungen sind im FMEA-Formblatt nicht eindeutig dargestellt und führen zu Verwechslungen oder Fehlinterpretationen.
- ▶ Entgegen bisheriger Auffassung ist die mit dem Formblatt durchgeführte FMEA prinzipiell lückenhaft sind, weil das Erreichen der Vollständigkeit und ihre Überprüfung im Formblatt methodisch nicht vorgesehen ist.
- ▶ Da die methodischen Elemente der FMEA für die Arbeitsebenen System-Konstruktion-Prozess nicht eindeutig definiert sind, entstehen Vermischungen der Inhalte verschiedener Ebenen und dadurch Verzerrungen bei der Risikobewertung.
- ▶ Mit der heutigen FMEA-Methodik werden die erhöhten Risikozahlen erst nach vollständiger und mit hohem Zeitaufwand durchgeführter FMEA erkannt.
- ▶ Der Gesamt-Methodik der FMEA von der Systemanalyse über die Funktions- und Fehleranalyse bis hin zur Maßnahmenplanung und -Implementierung fehlt die notwendige Transparenz sowie die einfache und durchgängige Dokumentation.
- ▶ Die möglichen Synergien aus dem Top-down-Transfer durch Übernahme von Inhalten aus der jeweils übergeordneten FMEA-Art können mit der heutigen FMEA-Methodik noch zu wenig genutzt werden.

Mehrfachmatrizensystem für optimale Prävention

Eine Matrix besteht in der Regel aus dem Achsenkreuz, den Listen oder Achsen sowie dem Verknüpfungsfeld. Die Listen sind unterteilt in eine Nummerierungsspalte, eine Textspalte und eine Bewertungsspalte, die für Berechnungs-, Sortierungs- und damit Priorisierungsoperationen verwendet werden. Die Verknüpfungen der Listenelemente werden entweder durch graphische Zeichen oder durch Zahlen hergestellt. Die Matrixdarstellung ist umso sinnvoller, je höher die Anzahl der Verknüpfungen bezogen auf das Verknüpfungsfeld ist.

Zur stringenten Vernetzung der methodischen Elemente der FMEA wurden elf Einzelmatrizen entsprechend den methodischen Zusammenhängen in einem Mehrfachmatrizensystem kombiniert. Methodische Elemente wie Betrachtungseinheiten, Funktionen, Fehlerarten, Fehlerentdeckungen, Fehlerauswirkungen, Fehlerbegrenzungen, Fehlerursachen und Fehlervermeidungen werden miteinander verknüpft. Für Selektion und Maßnahmenverfolgung wurden zusätzliche Matrixachsen ergänzt. Die Matrix-FMEA stellt ein von der Bauteilelektion bis zur Maßnahmenrealisierung durchgängiges System dar [2].

Konstruktions-FMEA über ein Druckbegrenzungsventil

Das Beispiel der Konstruktion eines Druckbegrenzungsventils demonstriert die schrittweise Vorgehensweise bei der Erstellung einer Matrix-FMEA (Bild 1):

▶ Notwendigkeit und Priorität für FMEA festlegen

Die Matrix-FMEA beginnt mit einer Entscheidungstabelle (Bild 1 o. li.). In der vertikalen Achse werden die Bauteile des zu untersuchenden Produkts aufgelistet.

In der horizontalen Achse enthält die Entscheidungstabelle einerseits unter „Bedingungen“ Kriterien für Gefährdungspotentiale, Neuheits- bzw. Änderungsgrad und den FMEA-Status (z.B. „keine“, „nicht aktuell“, „FMEA vorhanden“), andererseits unter „Maßnahmen“ die aus den Bedingungen resultierenden Festlegungen hinsichtlich FMEA-Art (System-, Konstruktions-, Prozeß-FMEA), FMEA-Umfang (Voll-, Delta-, und keine FMEA) und Durchführungsverantwortung („selbst“ oder „Zulieferer“). Durch Multiplikation der Summe der gewichteten Verknüpfungen pro Bauteil mit dem ermittelten FMEA-Status ergeben sich nachvollziehbare Prioritäten für die FMEA-Durchführung. Die Bauteile können nun nach ihrer Bearbeitungspriorität sortiert werden („BE sort“).

▶ Funktionen ermitteln und verknüpfen

Im zweiten Schritt werden in der Bauteil/Funktionen-Matrix alle Funktionen der Bauteile ermittelt und miteinander verknüpft. Die Vollständigkeit der Funktionen wird bei der Konstruktions-FMEA durch systematische Abfrage der Wirkgeometrien der Bauteile erreicht. Die Vollständigkeit der Verknüpfungen von Bauteilen und Funktionen ergibt sich aus dem Matrix-Quercheck, einer zusätzlichen Funktionen-/Bauteil-Abfrage.

Herkömmliche FMEA übertreffen

Mit der zur Matrix-FMEA weiterentwickelten FMEA-Methodik sollen durch bestimmte Eigenschaften höhere Effektivität und Effizienz und damit weitgehende Fehlervermeidung und breite Akzeptanz erzielt werden:

- ▶ eindeutige methodische Definitionen und Zusammenhänge für die drei Konkretisierungsebenen System, Konstruktion, Prozeß,
- ▶ leicht verständliche, stringent verknüpfte Methodik,
- ▶ vollständige Betrachtungsweise ohne inhaltliche Lücken,
- ▶ hohe Gründlichkeit bei der Fehlerbeschreibung,
- ▶ umstrukturierte FMEA-Inhalte für Erstellung und Auswertung,
- ▶ transparente Darstellung kritischer Pfade und Bereiche,
- ▶ kompakte, redundanzfreie Dokumentation stark vernetzter Informationen,
- ▶ übersichtlicher Gesamtzusammenhang,
- ▶ Priorisierung notwendiger, wichtiger, kritischer FMEA-Pfade,
- ▶ synergetische Nutzung des Top-down-Transfers (System-Konstruktion-Prozeß),
- ▶ einfacher bedienbare Rechnerunterstützung,
- ▶ leichte Erlernbarkeit.

▶ Bauteilfunktionen für kritischen Pfad klassifizieren

In der Matrix „Übergeordnete Funktionen/Bauteilfunktionen“ werden die übergeordneten Funktionen des Produktes beschrieben oder im Sinne eines Funktionstransfers von der übergeordneten System-FMEA übernommen. Bauteilfunktionen, die die übergeordneten Funktionen direkt unterstützen, werden mit diesen verknüpft. Die übergeordneten Funktionen können nun nach Gefährdungspotentialen klassifiziert werden, beispielsweise:

- 1 = Gefahr für Gesundheit und Leben von Personen,
- 2 = Verstoß gegen Gesetze oder Vorschriften,
- 3 = Verlust hoher Werte (Folgeschäden, Liegenbleiber, Produktionsausfall).

Durch Übertragung der Klassifizierungsziffern auf die Verknüpfungen werden die Bauteilfunktionen für die FMEA-Bearbeitung priorisiert und sortiert („Fu sort“).

▶ Potentielle Fehler ableiten

Im nächsten Schritt werden die potentiellen Fehler, nämlich physikalische und chemische Versagensarten, in der priorisierten Reihenfolge von den Bauteilfunktionen abgeleitet und miteinander verknüpft. Die Versagensarten sind so differenziert zu beschreiben, daß unterschiedliche Fehlerauswirkungen (hier: Fehlfunktionen) und unterschiedliche Fehlerursachen (hier: Dimensionierungs- und Matrix-Auswahlfehler) ableitbar sind.

▶ Versagensarten entdecken

In der Matrix „Versagensarten/Fehlerentdeckung“ werden die in der Entwick-

lungsphase verbindlich vorgeschriebenen Fehlerentdeckungen (Versuche, Erprobungen) aufgelistet, miteinander verknüpft und hinsichtlich ihrer Entdeckungswahrscheinlichkeit (E=10 bis 1) bewertet. Bei mehreren Entdeckungsmöglichkeiten für eine Versagensart wird die jeweils niedrigste erreichte E-Bewertung zur späteren Berechnung der Risikoprioritätszahl verwendet und in der Spalte E angezeigt.

▶ Fehlerauswirkungen beschreiben

In der Matrix „Versagensarten/Fehlerauswirkungen“ werden die potentiellen Fehlerauswirkungen (hier: Fehlfunktionen) beschrieben und hinsichtlich ihrer Schwere (S=10 bis 1) bewertet. Die E- und S-Bewertungen werden an den Verknüpfungspunkten in der Matrix „Versagensarten/Fehlerauswirkungen“ zu $S \times E$ -Produkten multipliziert („ $S \times E$ calc“). Die jeweils höchsten $S \times E$ -Werte pro Versagensart werden in die $S \times E$ -Spalte automatisch übernommen und nach $S \times E$ absteigend sortiert („ $S \times E$ sort“).

▶ Fehlerursachen priorisiert ermitteln

Da die höchsten Risikozahlen bei den höchstbewerteten $S \times E$ -Produkten zu erwarten sind, wird die Suche nach potentiellen Fehlerursachen entsprechend der $S \times E$ -Priorität durchgeführt. In der Matrix „Fehlerursachen/Fehlervermeidung“ werden die im Ist-Zustand verbindlich durchgeführten Fehlervermeidungsmaßnahmen differenziert beschrieben und mit den relevanten Fehlerursachen verknüpft. In der senkrechten Spalte für die A-Bewertung wird die Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursachen unter Berücksichtigung der jeweils realisierten Fehlervermeidungs-

maßnahmen bewertet. Die durch die Fehlervermeidungsmaßnahmen niedrigsten erreichten A-Bewertungen werden automatisch in die horizontale A-Zeile übertragen.

▶ Risikoprioritätszahlen berechnen und visualisieren

Die $S \times E$ - und A-Bewertungen werden an den Verknüpfungspunkten in der Matrix „Versagensarten/Fehlerursachen“ zu Risikoprioritätszahlen multipliziert („RZ calc“). Die Risikoprioritätszahlen in der Matrix „Versagensarten/Fehlerursachen“ werden nun beidachsig sortiert („RZ sort“). Im oberen, linken Feld sind die höchste Risikoprioritätszahl (RZ = 400) sowie weitere Risikoprioritätszahlen, die über dem angenommenen RZ-Limit von 125 liegen hervorgehoben dargestellt. So zeigen die selektierte FMEA-Erstellung entlang des kritischen Pfades und die Visualisierung kritischer Matrix-Pfade und -felder die kritischen Punkte der Konstruktion auf.

Anzahl der Listenelemente

Bauteile (BE)	8
Bauteile-Funktionen (Fu)	10
Komponenten-Funktionen (ÜF)	5
Versagensarten (FA)	19
Prüfungen der Entwicklung (FE)	16
Fehlfunktionen (FW)	12
Fehlerbegrenzung (FB)	1
Merkmalabweichung (KO)	23
Robuste Konstruktionen (FV)	14
Anzahl der ermittelten Risikozahlen	98
Höchste Risikozahl	400

Verknüpfungsgrad der Einzelmatrizen

Matrix	Anz. Verkn.	VG
BE/Fu	26	32,5%
Fu/FA	27	14,2%
FA/FE	39	12,8%
FA/FW	37	16,2%
FW/FB	12	100,0%
FA/FU	42	9,6%
FU/FV	23	7,1%

Tabelle 1. Ergebnisse der automatischen Matrix-FMEA-Auswertung zur Präsentation

Content in Short

A systematic method for avoiding faults. Locating the critical points of products and processes with computer aided matrix FMEA. FMEA, which has long been used by many industrial sectors, frequently proves to be excessively expensive and insufficiently effective. For small and medium-sized companies, computer aided matrix FMEA provides a guaranteed assurance of the completeness and effectiveness of the FMEA. The requirements laid down within the framework of the certification of QM systems can thus be met.

► Risiken gezielt minimieren

Im kritischen Matrix-Feld ist ferner erkennbar, welche Fehlerursachen infolge ihrer hohen A-Bewertungen zu den er-

Risiken wurden also mit der Matrix-FMEA aufgedeckt.

Der Zeitaufwand für die FMEA betrug etwa einen Tag, d.h. die Matrix-FMEA wurde im Vergleich zu Erfahrungswerten einer Listen-FMEA etwa fünfmal schneller erstellt. Die Darstellung der Fehleranalyse als Matrix-FMEA ist umso lohnender, je höher die Verknüpfungszahlen liegen (Tabelle 1 re.). In dem beschriebenen Beispiel konnten etwa 80 unnötige Wiederholungen von FMEA-Texten vermieden werden.

► Vollständigkeit gewährleisten

Die FMEA verlangt nach wie vor die Vollständigkeit der Analyse, denn Fehler, die nicht behandelt wurden, können auch nicht vermieden werden. Die Forderung nach Vollständigkeit wird auf zweierlei Weise erfüllt:

- Listenerweiterung durch Anwendung von Submethoden: Von den sieben methodisch relevanten Listen müssen fünf möglichst vollständig sein, was durch die Anwendung von Submetho-

Matrix	Frage für Matrix-Quercheck
BT/Fu	Läßt sich die Funktion noch anderen Bauteilen zuordnen?
Fu/VA	„ Versagensart „ Funktionen „
VA/FF	„ Fehlfunktion „ Versagensarten „
VA/FU	„ Fehlerursache „ Versagensarten „

Tabelle 3. Quercheck als Hilfsmittel zur Sicherung der FMEA-Vollständigkeit

Liste	Submethode
Bauteil	Checkliste: Stückliste/Entwurfszeichnung
Funktionen	Systematische Abfrage der Wirkgeometrien
Versagensarten	Ableitung aus Funktionen und Belastungsarten
Fehlfunktionen	Leitworte für funktionelle Fehler
Fehlerursachen	Systematische Abfrage mit 10 Buchstabenschlüsseln

Tabelle 2. Einsatz von Submethoden zur Vervollständigung der Analyse

höhten Risikoprioritätszahlen führen. Durch Einführung von geeigneten zusätzlichen Maßnahmen (Fehlervermeidungsliste) können die Risikoprioritätszahlen auf Werte unter 125 reduziert werden.

► Maßnahmen übersichtlich verfolgen

In den Matrizen am rechten Rand des Matrix-FMEA-Systems werden die einzuführenden Fehlervermeidungsmaßnahmen terminiert und mit Verantwortlichkeiten versehen (V,T). Über die Zeitachse kann die termingerechte Einführung der Maßnahmen verfolgt werden.

► Ergebnisse präsentieren

Zunächst wird der Untersuchungsumfang der Matrix-FMEA durch die Anzahl der behandelten Listenelemente automatisch aufgezeigt (Tabelle 1). In der als Beispiel gezeigten Konstruktions-FMEA für das Druckbegrenzungsventil wurden insgesamt 89 Risikozahlen ermittelt. Zehn davon (11 %) lagen oberhalb des Limits von 125. Die höchste Risikoprioritätszahl betrug 400. Die wesentlichen

den im Rahmen der Matrix-FMEA erreicht wird (Tabelle 2).

- Matrix-Quercheck der Vollständigkeit der Verknüpfungen: Vergleiche zwischen Listen- und Matrix-FMEA zeigen, daß die Listen-FMEA prinzipiell unvollständig sind und hinsichtlich des FMEA-Umfangs Lücken von 50 bis 80% aufweisen können (Tabelle 3, Bild 2).

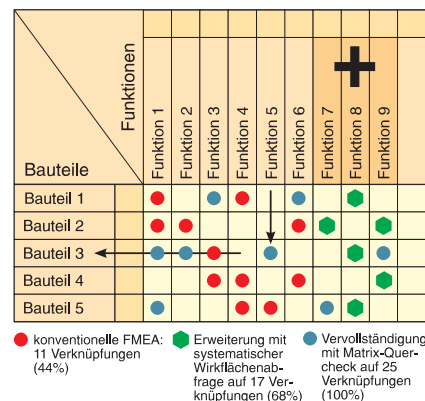


Bild 2. Beispiel Bauteil-/Funktionen-Matrix: Vervollständigung der Analyse

Literatur

- 1 Kersten, G.: Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse (FMEA). In: Masing, W.: Handbuch Qualitätsmanagement, 3. Auflage. Hanser, München 1994, S. 469-490
- 2 Kersten, G.: Matrix-FMEA Grundseminar für System-Konstruktions-Prozeß-FMEA. VDI-WIV, Stuttgart 1998.

Der Autor dieses Beitrags

Dipl.-Ing. Günter Kersten, geb. 1933, studierte Maschinenbau an der Uni/GHS Essen. Er war zunächst bei der DEMAG in Duisburg, dann 34 Jahre bei der Robert Bosch GmbH, Stuttgart, tätig. In den letzten 15 Jahren war er für die Implementierung und Anwendung von QM-Methoden wie Wertanalyse, FMEA und QFD verantwortlich. Er ist seit 1980 als Lehrbeauftragter des VDI für diese Methoden tätig. Zur synergetischen Anwendung von Qualitätsmanagement-Methoden entwickelte er das Integrierte-Methoden-System IMS. Heute führt er diese Tätigkeiten als selbständiger Unternehmensberater für Innovationsmanagement in Vaihingen/Enz aus.