

2 Ausfalleffektanalyse nach DIN 25 448 (FMEA)

Zum Zweck der qualitativen Bewertung von Systemen hinsichtlich des Ausfalls einzelner Bauelemente, auch schon im Entwurfsstadium, wurde die FMEA (failure mode and effects analysis) als Zuverlässigkeitsanalyse entwickelt.

Sie ist in allen Bereichen der Technik und Software und für sonstige, z.B. organisatorische Prozesse einsetzbar. In der QS wird sie nicht nur zur Analyse des Ausfallverhaltens herangezogen, sondern für alle möglichen Fehlerarten und deren Auswirkungen. Deshalb wird sie in freier Übersetzung, auch in der Norm, als "Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse" bezeichnet. Die Forderung an jedes Produkt heißt:

- Sicherheit • Zuverlässigkeit • Verfügbarkeit

Aus dieser Forderung ergeben sich die Ziele der FMEA:

- Potenzielle Fehler so früh wie möglich zu erkennen,
 - um Fehlerkosten zu senken.
- Fehlerursachen zu beseitigen (Korrekturmaßnahmen),
 - um Fehler nicht entstehen zu lassen,
 - um den Durchschlupf fhE zu vermeiden und
 - um das Haftungsrisiko zu minimieren.
- Kritische Komponenten zu erkennen,
 - um Gefahren und Risiken zu minimieren und
 - um die Instandhaltung optimal zu planen.
- Schwachstellen des Prozesses oder Designs aufzudecken,
 - um den Prozess zu optimieren bzw.
 - um das Design zu verbessern.

Auch bei der FMEA wird das zu analysierende System in möglichst viele, überschaubare Elemente aufgegliedert. Das bedeutet für die Konstruktions-FMEA:

- Gliederung in alle Bauteile, die einzeln analysiert werden,

und für die Prozess-FMEA:

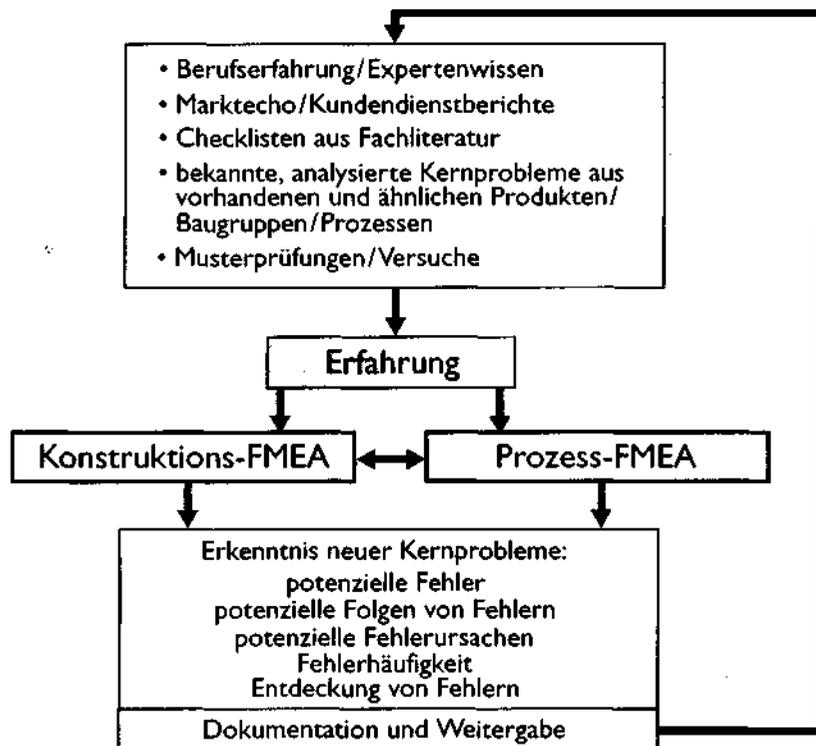
- chronologische Gliederung und Untersuchung aller Prozessschritte.

Für die Durchführung der FMEA müssen Informationen zum Aufbau und zur Funktion des zu analysierenden Systems vorliegen. Sie bestehen z. B. aus Unterlagen wie:

- Funktionsbeschreibungen (Zeichnungen, Pflichtenheft, Ablaufdiagramme u.Ä.),
- Spezifikationen (technische Richtlinien, Normen, gesetzliche Vorschriften, Kundenwünsche, Hausnormen u.Ä.),
- Einsatzbedingungen (Einsatzprofil, Einsatzbeschränkungen, Umgebungs- und Versandbedingungen u.Ä.),
- Schnittstellen (Wechselwirkung mit anderen Systemen oder Systemteilen).

Eine besonders wichtige Informationsquelle ist die **Erfahrung**: die Kompetenz der Experten und die Erkenntnisse aus ähnlichen Systemen und früheren Analysen.

Zusammenspiel von FMEA und Erfahrung



Das Auffinden potenzieller Fehler und die Beurteilung ihrer Folgen wird durch die Verwendung von Checklisten erleichtert. Sie werden aus früher durchgeführten FMEA zusammengestellt und fortlaufend komplettiert.

Fach- oder Branchenvereinigungen, z. B. die DGQ^[06], veröffentlichen Checklisten in unregelmäßigen Intervallen. Einige Kunden stellen den Lieferanten ihre Checklisten, manchmal auch mit der Forderung zu ihrer Anwendung, zur Verfügung.

Die **Konstruktions-FMEA** hat zum Ziel, dass die Qualität in das Produkt „hineinkonstruiert“ wird, und soll deshalb in einem sehr frühen Stadium der Produktentstehung durchgeführt werden.

Die in der Entwurfsphase erstellte Analyse wird fortlaufend durch neue Erkenntnisse aus simulierenden Tests oder Konstruktions- und Musterprüfungen aktualisiert.

Die Konstruktions-FMEA wird angewendet:

- **in der Konzeptphase**, um über Sicherheits- und Ausfallrisiken Entscheidungshilfen für alternative Konzepte zu erhalten;
- **in der Konstruktionsphase**, um Schwachstellen zu erkennen und Abhilfemaßnahmen festzulegen;
- **in der Versuchsphase**, um Versuche auf das Wesentliche beschränken zu können.

Dabei werden Konzept und Konstruktion auf mögliche Schwachstellen bezüglich

- Funktion,
- Sicherheit (auch Entsorgbarkeit),
- Zuverlässigkeit,
- Montage- und Servicefreundlichkeit,
- Herstellbarkeit,
- Lebensdauer

untersucht.

Für Produkte der Serienfertigung wird eine Konstruktions-FMEA erforderlich

- bei neuen Produkten,
- bei Änderungen an Produkten oder Produktteilen, Werkstoffen, Technologien,
- bei Änderungen der Verwendung, der Sicherheitsrisiken und der gesetzlichen oder vereinbarten Auflagen,
- wenn aus Produktions- oder Feldproblemen Korrekturmaßnahmen erforderlich werden.

Die **Prozess-FMEA** soll mögliche Schwachstellen und Störeinflüsse in der Herstellungsphase aufdecken und fehlerhafte Produktion vermeiden.

Untersuchungsziele sind Prüfung und Bewirkung von z.B.:

- Eignung des (geplanten) Herstellverfahrens (Prozesses),
- Prozessfähigkeit/-optimierung,
- Reproduzierbarkeit,
- Fehlererkennbarkeit (Prüfmaßnahmen),
- Wirtschaftlichkeit (Verschleiß, Wartung usw.),
- Schnittstellenproblematik (systemintern/-extern),
- Umwelt- und Arbeitssicherheit.

Eine Prozess-FMEA muss nicht immer für den gesamten Ablauf erstellt werden. Sie kann, bei angemessener Berücksichtigung der Schnittstellen, auch für einzelne Prozessschritte wirksam sein.

Wenn für das Produkt eine Konstruktions-FMEA durchgeführt worden ist, können die dabei gewonnenen Erkenntnisse zu Kernproblemen bei der Prozess-FMEA vorteilhaft verwendet werden.

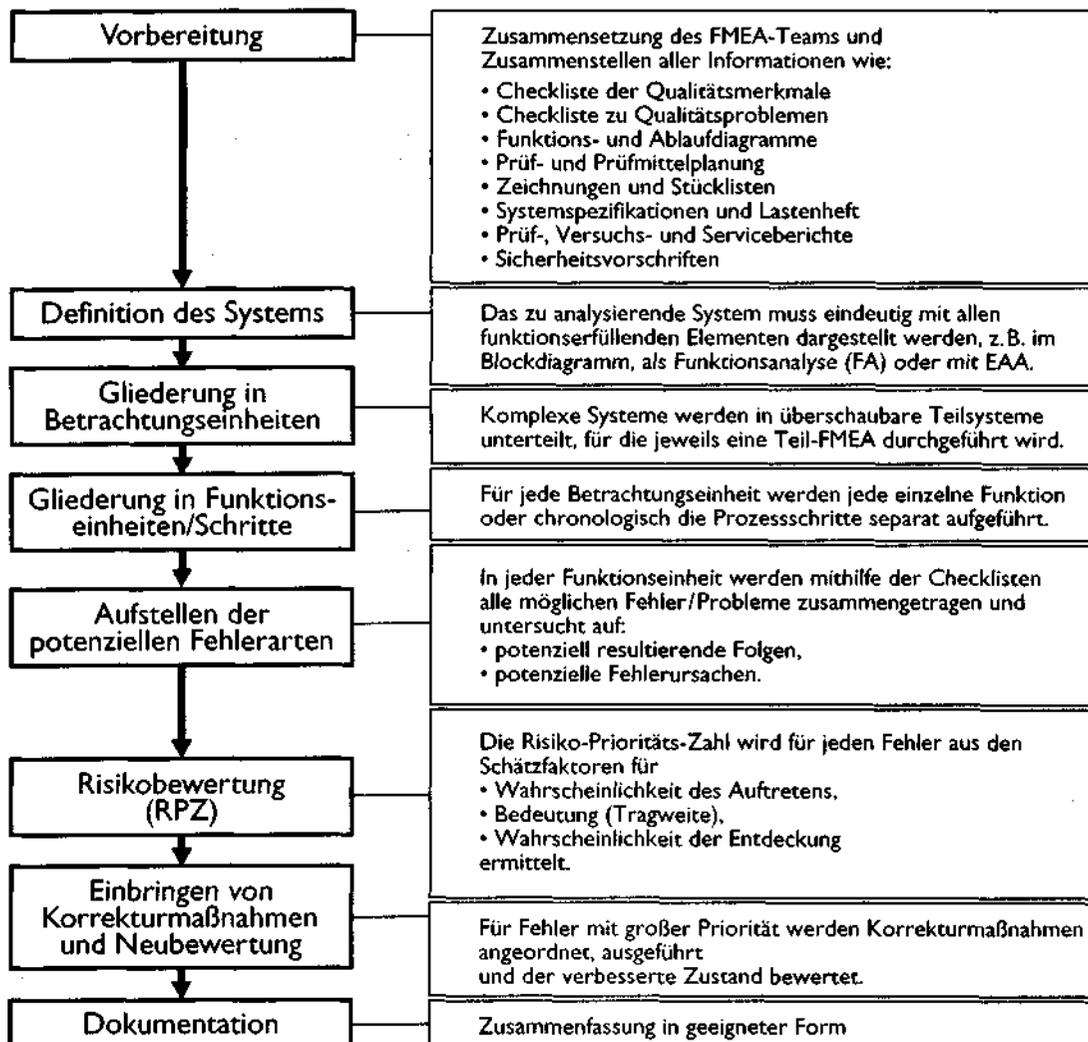
Hier zeigt sich der besondere Vorteil, wenn die Fertigungsexperten auch schon an der Konstruktions-FMEA beteiligt waren.

Die Prozess-FMEA wird angewendet:

- **in der Vorplanungsphase**, um über die Eignung von Prozess-, Ablauf- und Anlagenalternativen oder Investitionen zu entscheiden;
- **in der Phase der Fertigungsplanung (AV)**, um Schwachstellen zu erkennen und Abhilfe zu schaffen;
- **in der Vorserienphase**;
- **in der Fertigungsphase** zur Optimierung von Prozessen bzgl. Qualitätsfähigkeit und Zuverlässigkeit sowie zur Wartungs-, Logistik- und Kostenoptimierung.

Die Durchführung der FMEA erfordert die Fachkenntnis eines interdisziplinären Expertenteams, das möglichst in konstanter Zusammensetzung arbeiten sollte, um die zunehmende Routine und Erfahrung optimal zu nutzen.

Ablaufschema für die Durchführung einer FMEA



FMEA-Formblatt (für Automobilindustrie übliche Modifizierung)

Firma (Logo)	Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse Konstruktions-FMEA <input type="checkbox"/> Prozess-FMEA <input type="checkbox"/>				Teil-Bezeichnung		Teil-Nr.	
	Name: Abt./Lieferant:				Modell/System/Fertigung		Abstellmaßnahmen	
Bestätigt durch:	Name: Abt./Lieferant:		Name: Abt./Lieferant:		Ersteller:		Erstell-Datum	
Systeme/Merkmale Funktionen/Schritte	Potenzielle Fehler	Potenzielle Folgen des Fehlers	Potenzielle Fehlerursachen	Ist-Zustand Entdeckung Bedeutung Auftreten	Empfohlene Abstellmaßnahmen	Verant- wortlichkeit	Verbesserter Zustand	
							Getroffene Maßnahmen	Entdeckung

Wahrscheinlichkeit des Auftretens	Bedeutung (Auswirkung beim Kunden)	Wahrscheinlichkeit der Entdeckung	Priorität (RPZ)
unwahrscheinlich = 1	kaum wahrnehmbare Auswirkung = 1	hoch = 1	maximal = 1000
sehr gering = 2-3	unbedeutender Fehler = 2-3	mäßig = 2-3	bedeutend = ≥ 125
gering = 4-6	mäßig schwerer Fehler = 4-6	gering = 4-6	keine = 1
mäßig = 7-8	schwerer Fehler (Verzögerung) = 7-8	sehr gering = 7-8	
hoch = 9-10	äußerst schwerer Fehler = 9-10	unwahrscheinlich = 9-10	

Prüfaufwand könnte sie weiter reduziert werden. Hier würden wohl, wie auch bei den Poren und Lunkern mit PRZ 60, die Kosten und die Feldresultate entscheiden.

Die Risiken der anderen Fehler dieses Beispiels wurden durch praktisch nicht mehr auftretende Spannungen, organisatorische Maßnahmen und vor allem die Reorganisation der Prüfung - von Abnahmeprüfung zur statistischen QRK-Technik - reduziert.

Der Mehraufwand der QRK-Prüfungen kann vom Bedienungspersonal, per „Selbstprüfung“, kostenneutral abgefangen werden.

Vorteile der FMEA sind:

- einfache Handhabung ohne mathematischen Aufwand,
- potenzielle Schwachstellen zur Feststellung von Handlungsbedarf werden eindeutig erkannt,
- Risiken werden durch Abschätzung quantifiziert,
- problemlose Überschaubarkeit und so besondere Eignung zur Demonstration der Qualitätssituation sowie als Diskussionsbasis und Entscheidungshilfe bei Verhandlungen und Optimierungsvorhaben,
- Überprüf- und Ergänzbareit, als „lebendes Instrument“ zum Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen kann und soll sie laufend ergänzt und aktualisiert werden,
- Anwendbarkeit auf beliebige Betrachtungseinheiten,
- hohe Akzeptanz und Verbreitung, besonders durch eine vereinheitlichte Darstellungsform.

Die EDV-Unterstützung bei der Durchführung der FMEA bietet den schnellen und sicheren Zugriff auf Informationen und Erfahrungswerte sowie Vereinfachung bei der Dokumentation und Präsentation. Auf dem Markt sind Software-Programme von einfachen Checklisten bis zur vollständigen FMEA-Verwaltung und -Aktualisierung, auch mit Schnittstellen zur CAQ, erhältlich.

Nachteil der FMEA: Risikobewertung basiert nur auf Schätzungen (das gibt ggf. Anlass zum Disput).

3 Fehlerbaumanalyse nach DIN 25 424 (FTA)

Die FTA liefert statistisch exakte, quantitative Aussagen zu Ausfallwahrscheinlichkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit von Systemen.

Die Fault Tree Analysis baut, wie die FMEA, auf die systematische Identifizierung aller möglichen Ursachen für Ausfälle, Fehler und Probleme auf.

Hier werden aber nicht nur die einzelnen Ursachen und Ereignisse betrachtet, sondern auch noch deren funktionale Zusammenhänge mit ihren und- bzw. oder-Verknüpfungen.

Analog zum Funktionsplan von Steuerungen werden die Verknüpfungen der einzelnen Elemente als Fehlerbaum-Diagramm dargestellt. Dabei wird „0“ als funktionsfähig und „1“ als ausgefallen gesetzt (DIN 25 424 TI).

Zur besseren Übersicht muss der Fehlerbaum oft in Module (Teil-Fehlerbäume) zergliedert werden.

Im Expertenkreis aus allen beteiligten Abteilungen wird eine vereinheitlichte Frageliste mit allgemeinen Grundforderungen systematisch abgefragt und bewertet:

+ = unproblematisch, - = problematisch, o = noch zu klären.

Die QB wird jeweils in der Entwurf-, Entwicklungs- und Serienanlaufphase durchgeführt, die ggf. erforderlichen Abstellmaßnahmen werden verfolgt und mit Ergebnis dokumentiert.

5 Prozessanalyse (PA) nach Ishikawa

Die Qualität des Produktes und die Fähigkeit des Prozesses ist meist von schwer übersehbar vielen Einflüssen abhängig.

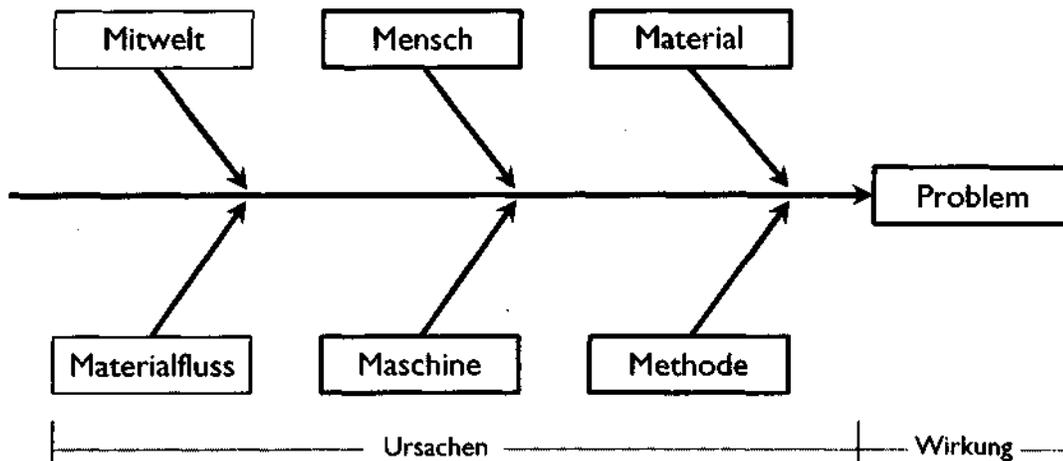
Mit dem **Ursache-Wirkungs-Diagramm** nach Ishikawa werden die Einflussgrößen systematisch erfasst und Problemursachen erkannt.

Die Haupteinflussgrößen auf die Qualität des Produktes oder den Ablauf eines Prozesses sind die aus „Einflüsse auf die Qualität“ (S. 58ff.) bekannten „5 M“. Sie sind in der Literatur (z.B. [08], S. 271, auch auf „4 M“ reduziert: Mensch, Maschine, Material, Methode.

Für die Prozessanalyse kann der Einfluss aus Logistik und Materialwirtschaft, der Materialfluss, zur besseren Übersichtlichkeit als zusätzliche Haupteinflussgröße betrachtet werden ⇒ „6 M“:

Mensch, Maschine, Material, Methode, Materialfluss, Mitwelt.

Ursache-Wirkungs-Diagramm der Haupteinflussgrößen nach Ishikawa

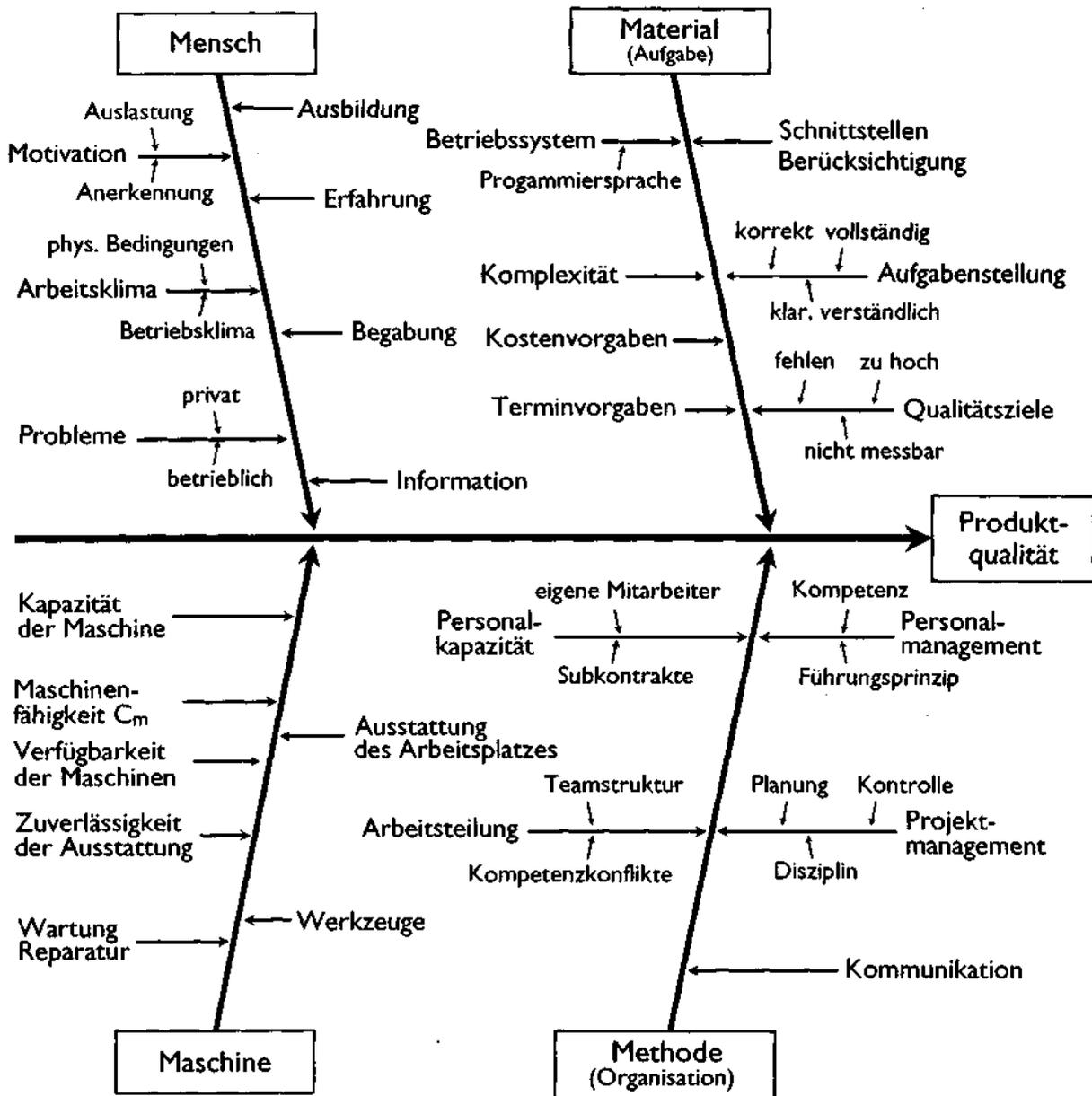


Diesen Haupteinflüssen müssen alle Ursachen und Nebenursachen zugeordnet werden. Im Expertenteam werden alle denkbaren, positiv und negativ wirkenden und fordernden Einflüsse auf das betrachtete Problem gesucht und mit Pfeilen ins Diagramm eingetragen. Wenn möglich, wird dazu auf frühere Analysen zurückgegriffen. Mithilfe von Kreativitätstechniken, z. B. Brainstorming, werden ggf. weitere Einflussgrößen gefunden und dem „Fischgrätendiagramm“ zugefügt.

Nach Prüfung auf Vollständigkeit dient dieses Diagramm dem Expertenteam als Basis zur Diskussion möglicher Schwachstellen.

Jede Einflussgröße wird systematisch hinterfragt.

Beispiel eines Ursache-Wirkungs-Diagramms zum Thema Software-Qualität
(nicht unbedingt vollständig)



Das Beispiel zeigt auch, dass die Haupteinflussgrößen nicht immer buchstabengetreue „M“ sein müssen, sondern dem zu untersuchenden Problem sinngemäß angepasst werden müssen.

Anmerkung: Mit Einführung der jüngeren FMEA ist die Beurteilung der Einflussgrößen durch freie Diskussion nicht mehr zeitgemäß. Damit dient das **Ursache-Wirkungs-Diagramm** schwerpunktmäßig der **Erfassung von Problemursachen**. Die Problemlösungen werden je nach Analysenziel mithilfe von z. B. Kostenanalyse, Paretoanalyse oder FMEA gefunden.

Das Ursache-Wirkungs-Diagramm von Produkt- oder Prozessgruppen ist eine gute Ergänzung zur FMEA und nützliche Hilfe für das Finden der potenziellen Ursachen und Fehler von allen Einflussgrößen.