

Qualitative Methoden in der Zuverlässigkeitstechnik

Rüdiger Heim

Zuverlässigkeit, Funktionale Sicherheit und Qualität von
(elektro-)technischen Systemen

Hochschule Darmstadt

University of Applied Science

Fachbereich EIT

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	III
Lernziele	IV
1 Qualität, Zuverlässigkeit und Kosten	5
1.1 Qualitätskosten	5
1.2 Zuverlässigkeit als Aufgabe im Entwicklungsprozess	8
1.2.1 Grundzüge der FMEA.....	10
1.2.2 Grundzüge der Fehlerbaumanalyse	13
1.2.3 Methodeneinsatz in den frühen Phasen der Produktentstehung	13
1.2.4 Prozessmodell <i>Stage-Gate®</i>	18
1.2.5 Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit.....	22
2 Fehlerbaumanalyse	26
3 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse	32
3.1 <i>Ishikawa</i> -Diagramm	36
3.1.1 Problemorientierte Fragen zu den 7M.....	37
3.2 System- und Funktionsstruktur	40
3.3 Systematisierte Prozessphasen	42
3.3.1 Risiko-Prioritätszahl	43
3.3.2 FMEA Formblätter	52
3.3.3 Zeitpunkt und Randbedingungen für die Durchführung einer FMEA	53
3.3.4 Software-FMEA und Kritik der FMEA	57
3.4 Weitere qualitative Methoden	60
4 Praxis: Design-FMEA	63
4.1 Reflexion.....	71
5 Praxis: Prozess-FMEA	72
5.1 Reflexion.....	75
6 Kritik an den Zuverlässigkeitsmethoden	76
Literaturverzeichnis	81
Stichwortverzeichnis	83

Einleitung

Der Qualitätsbegriff ist seit Jahrhunderten bekannt und leitet sich aus dem lateinischen Wort *qualitas* ab, das als die Beschaffenheit oder Eigenschaft eines Gegenstands übersetzt werden kann¹.

David A. Garvin von der *Harvard Business School* beschrieb eine achtdimensionale Sichtweise auf die Qualität von Produkten² und unterschiedliche strategische Ansätze, um den Begriff der Qualität zu charakterisieren. Es finden sich hierfür

- die produktbezogene Sichtweise, bei der Qualität als präzise messbar und Qualitätsunterschiede als quantifizierbar gelten,
- die transzendente Sichtweise, die Qualität als absolut und universell erkennbar beschreibt und durch Erfahrung empfindbar macht, aber eine präzise Definition nicht erlaubt³,
- die anwenderbezogene Sichtweise, die darstellt, dass qualitative hochwertige Produkte jene sind, die individuelle Bedürfnisse des Anwenders besonders gut befriedigen, d.h. es wird nicht zwangsläufig das beste, sondern das für den Verwendungszweck am besten passende Produkt bevorzugt,
- die prozessbezogene Sichtweise, die Qualität als die Konformität oder Übereinstimmung mit vorgegebenen Spezifikationen beschreibt,
- die wertbezogene Sichtweise, bei der Qualität als die Erfüllung einer gewünschten Leistung zu akzeptablen Kosten beschrieben wird.

Zuverlässigkeit und Qualität sind also erkennbar mehrdimensional: Während in Forschung und Entwicklung die produktbezogenen Ansätze zu besseren Produkten führen sollen, wird in der Produktion eine eher prozessorientierte Sichtweise des Qualitätsbegriffs, in Marketing und Vertrieb oftmals eine transzendente Sichtweise gepflegt. Gegenüber der früher dominierenden, wertbezogenen Sichtweise haben die meisten Unternehmen heute erkannt, dass für einen nachhaltigen Erfolg in globalisierten Märkten die bestmögliche Erfüllung der Kundenanforderungen höchste Priorität haben muss. Dies impliziert die Notwendigkeit, Designeigenschaften und Kundenanforderungen miteinander zu verknüpfen: Problematisch ist dabei oftmals, dass gerade in den frühen Phasen der Produktentstehung richtungsweisende Entscheidungen mit hohen Auswirkungen auf das abschließende Entwicklungsergebnis und deshalb mit erheblichem Einfluss auf den Markterfolg getroffen werden. Dies geschieht oftmals auf Basis von überwiegend unsicheren Daten - nämlich Annahmen, Abschätzungen oder Beurteilung aufgrund von Vorkenntnissen - und einem geringen Kenntnisstand der

¹ Häufig findet sich auch der Hinweis auf *qualitas occulta*, also eine verborgene Eigenschaft - und tatsächlich ist auch die Zuverlässigkeit in gewisser Weise eine solche verborgene Eigenschaft, denn Zuverlässigkeitseigenschaften können nicht direkt gemessen oder geprüft werden, sondern verlangen eine intensive Beschäftigung mit dem zu betrachtenden Gegenstand innerhalb dessen Nutzungszeitraums.

² Eine Zusammenfassung der acht Dimensionen von Garvin findet sich in dem Buch „Total Quality Management“ der beiden Autoren *Arthur R. Tenner* und *Irving J. DeToro*, das bei *Addison Wesley* 1994 erschien und heute noch im Buchhandel verfügbar ist.

³ Ein wenigstens in Teilen transzendenter Ansatz zum Qualitätsbegriff findet sich in der Werbung beispielsweise für Fahrzeuge der Firma *Porsche*: „Das Prinzip Porsche“ lautet „aus Möglichkeiten das Maximum herauszuholen“.

*späteren Produkteigenschaften. Deshalb sind in diesen Phasen der Produktentstehung geeignete Methoden notwendig, die es erlauben

- Schwachstellen des Designs oder des Prozesses zu entdecken, um diese qualitäts- und zuverlässigkeitsrelevanten Elemente zu verbessern,
- potenzielle Fehler so früh wie möglich zu identifizieren, um Fehlerkosten zu reduzieren,
- mögliche Fehlerursachen durch entsprechende Korrekturmaßnahmen zu beseitigen, um Fehler nicht entstehen zu lassen und dadurch mögliche Haftungsrisiken zu minimieren,
- kritische Komponenten zu erkennen, um Gefahren und Risiken zu minimieren und gleichzeitig die Wartung und Instandhaltung zu optimieren.

Das sind offensichtlich ganz andere Methoden als jene, die wir im vorangegangenen Modul kennengelernt haben, denn dort haben wir Zuverlässigkeitseigenschaften quantifiziert und entsprechende Kennwerte abgeleitet. Das funktioniert allerdings nicht mehr, wenn System, Prozess oder Design erst konzeptionell festgelegt, aber noch nicht ausgeführt und erprobungsbereit sind.

Jetzt benötigen wir also Methoden, die es uns erlauben, Schwachstellen, potenzielle Fehler und deren Ursachen sowie mögliche Fehlerfolgen in einer strukturierten Weise zu betrachten und zu bewerten: Das sind vielfach qualitative Methoden und dort finden wir eine Klasse von Problemlösungsmethoden, die auf die Identifikation der Wurzel oder Grundursache eines Problems⁴ oder Ereignisses ausgerichtet sind. Diese Methoden werden genutzt, um Fehlerursachen zu korrigieren oder zu eliminieren und eben nicht die offensichtlichen Symptome des Problems zu beheben. Durch die Ausführung korrigierender Maßnahmen an der Problemwurzel wird eine substantielle Minderung der Wahrscheinlichkeit für das Wiederauftreten des Problems erwartet.

Die Eigenschaften und Anwendung solcher Methoden behandeln wir in diesem Modul und schließen damit die Betrachtung zu den Methoden der Zuverlässigkeitstechnik ab. Die qualitativen Methoden werden durch die sogenannte Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) dominiert, die - das sollte keine Überraschung sein - auch im Mittelpunkt dieses Moduls steht. Für die FMEA finden sich teilweise recht gemeine Kurzformen wie beispielsweise

- FMEA = „für mich ein Alptraum“,

aber wir werden erkennen und lernen, dass die FMEA ein sehr cleveres Methodensystem ist, in einer strukturierten und teamorientierten Weise Risiken zu minimieren und damit die Zuverlässigkeit von Produkten und Prozessen zu verbessern.

⁴ Im Englischen finden wir hierfür den Begriff der *root cause analysis (RCA)*, also genau den Bezug auf die Analyse der Grundursache für ein Problem.

Lernziele

Nach der Einführung in die quantitativen Methoden der Zuverlässigkeit betrachten wir in diesem Modul die wichtigsten qualitativen Zuverlässigkeitsmethoden. Diese unterscheiden sich von den auf quantifizierbare Merkmale und Eigenschaften ausgerichteten Methoden nicht allein inhaltlich, sondern auch im Hinblick auf den Zeitpunkt ihrer Anwendung. Die qualitativen Methoden werden vorrangig in den frühen Phasen der Produktentstehung eingesetzt und charakterisieren sich im Fall der FMEA, also der am häufigsten genutzten qualitativen Zuverlässigkeitsmethode, als vorbeugende Maßnahme zur Fehlerprävention bzw. Fehlerdetektion.

Das Ziel dieses Moduls ist es, die Studierenden mit grundsätzlichen Begriffen und Inhalten der qualitativen Zuverlässigkeitsmethoden vertraut zu machen und deren Position im Produktentstehungsprozess einordnen zu können. In dieser Weise runden wir das Verständnis für die in der Produktentstehung genutzten Zuverlässigkeitsmethoden ab und verfügen dann gemeinsam mit dem vorherigen Modul über grundlegende Kenntnisse zur methodenorientierten Entwicklung zuverlässiger Produkte und Systeme.

Hierfür verfolgt dieser Lehrbrief die folgenden Ziele:

- Der Zusammenhang von Qualität, Zuverlässigkeit und Kosten soll entwickelt und verstanden werden.
- Aus der Betrachtung von determinierten und tatsächlich verursachten Kosten im Produktentstehungsprozess entsteht das Bewußtsein für frühzeitig eingesetzte Zuverlässigkeitsmethoden.
- Die deduktiven bzw. induktiven Ansätze qualitativer Zuverlässigkeitsmethoden sollen eingeordnet und verstanden werden.
- Mit der Konzentration auf die Fehlerbaumanalyse sowie die FMEA sollen unterschiedliche methodische Aspekte behandelt werden, die ein grundlegendes Gerüst der qualitativen Zuverlässigkeitsmethodik abbilden.
- Kurze praxisorientierte Problemskizzen sollen zum eigenständigen Arbeiten motivieren und damit die Befähigung zur späteren konkreten Anwendung der qualitativen Zuverlässigkeitsmethoden ausbilden.
- Das Zusammenwirken der quantitativen und qualitativen Zuverlässigkeitsmethoden soll reflektiert und kritisch betrachtet werden.

1 Qualität, Zuverlässigkeit und Kosten

1.1 Qualitätskosten

Der Begriff der Qualitätskosten im Sinne einer klassischen Klassifizierung, d.h. in der Verknüpfung mit Begriffen wie Prüfkosten, Fehlerkosten oder Fehlervermeidungskosten führte über einen langen Zeitraum zu einem negativ besetzten Qualitätsbegriff. Qualität war gleichbedeutend mit einem hohen finanziellen Zusatzaufwand - tatsächlich galt Qualität als teuer. Nach dieser Auffassung konnte eine Steigerung der Qualität nur durch höhere Kosten erzielt werden.

Die Untersuchungen von *Hahner* und *Steinbach* in den 1980-er Jahren⁵ zeigten auf, dass die meisten Unternehmen ihre Rentabilität mit einem bestimmten Fehleranteil erzielten. Die Autoren stellten fest, dass die Fehlerkosten damals zwischen 40% und 50% der gesamten Qualitätskosten und etwa 2% des Umsatzes ausmachten. Andererseits lagen die Fehlervermeidungskosten bei gerade einmal 16% der gesamten Qualitätskosten und somit bei 0,8% des Umsatzes.

Grundsätzlich besteht bei Qualitätsinvestitionen die Problematik der Zurechenbarkeit der entstehenden Kosten und der Zuordnung des Nutzens. Eine zweite Besonderheit von Qualitätsinvestitionen liegt darin, dass die Zeitstruktur der finanziellen Konsequenzen nicht immer festzustellen ist. Klassische Sachinvestitionen weisen demgegenüber eine generelle Zeitstruktur auf, in der zu Beginn der Investitionsdauer die Auszahlungen höher als die Einzahlungen sind. Ab einem bestimmten Zeitpunkt übersteigen die Einzahlungen die Auszahlungen, so dass das Ergebnis positiv wird. Die finanziellen Qualitätsinvestitionen folgen jedoch nicht dieser generellen Struktur; außerdem zeigen Qualitätsmethoden selten eine sofortige nutzenseitige Wirkung. Ein qualitätsbezogener Nutzen qualitativer Zuverlässigkeitsmethoden wie Fehlerbaumanalysen oder FMEA setzt erst mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung ein - häufig erst nach einem längerem Zeitraum und dann in Form einer höheren Kundenbindung, mit der Steigerung von Marktanteilen sowie in Form einer Kostensenkung. Damit wird uns schnell klar: Bei einem FMEA-Projekt handelt es sich um eine Qualitätsinvestition, die einige Besonderheiten gegenüber einer Investition im klassischen Sinne aufweist. Die notwendige Investition selbst kann dabei in einer Größenordnung von 1,5% bis 5% der gesamten Entwicklungskosten liegen.

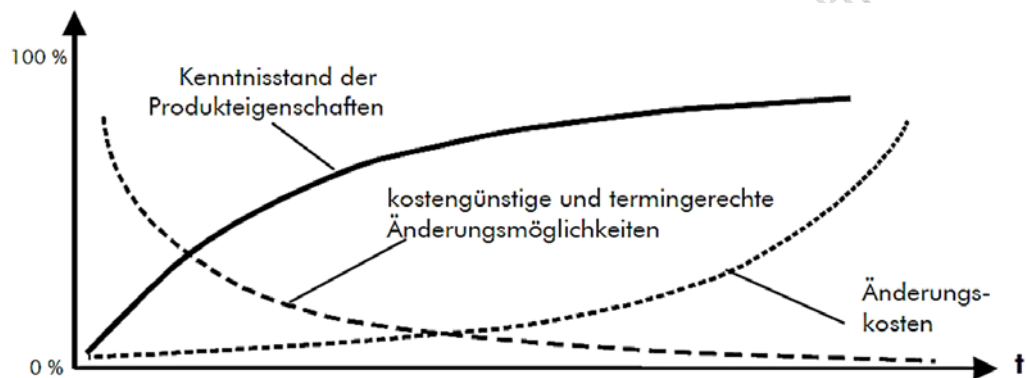
*

Häufig ist es problematisch, dass gerade in den frühen Phasen der Produktentstehung richtungsweisende Entscheidungen mit signifikanten Auswirkungen auf das abschließende Ergebnis und deshalb mit einem erheblichen Einfluss auf den späteren Markt-

⁵ *Steinbach* (1985) und *Hahner* (1981) begrenzten die Erfassung von Fehlerverhütungskosten vorrangig auf jene Kostenstellen, in denen ausschließlich präventive, fehlervermeidende Tätigkeiten erfasst wurden. Demgegenüber wird die Bezeichnung Fehlerkosten in der Literatur teilweise auch für Erlösminde- und auch neutrale Aufwendungen verwendet.

erfolg getroffen werden. Diese Entscheidungen basieren oftmals auf unsicheren Daten - beispielsweise Annahmen, Schätzungen usw. - sowie einem geringen Kenntnisstand hinsichtlich der späteren, tatsächlichen Produkteigenschaften.

In verschiedenen Studien wurde festgestellt, dass ein Großteil der Fehler in den frühen Phasen der Produktentstehung auftreten, diese aber häufig sehr viel später erst erkannt und dann mit erheblichem Ressourceneinsatz - also großen personellen und finanziellen Aufwendungen - korrigiert werden⁶. Dabei sind gerade in den frühen Phasen fehlerbedingte Änderungen vergleichsweise einfach und kostengünstig durchzuführen; je später die Notwendigkeit solcher Änderungen im Entwicklungszyklus erkannt wird und je näher der geplante Produktionsbeginn liegt, desto größer werden Aufwand und Kosten (Bild 1). Änderungen am Produkt implizieren in einer späten Phase der Produkt- und Prozessentwicklung in der Regel auch kostenintensive Ände-



rungen für Fertigungs- und Montageeinrichtungen.

Bild 1 Qualitative Darstellung der zeitabhängigen Entwicklung der Änderungskosten

Demgegenüber ermöglicht ein gezielter Mehraufwand in den frühen Phasen eine deutliche Erkenntnisvorverlagerung und damit auch die Entwicklung von qualitativ hochwertigen Produkten bei in der Summe kürzeren Entwicklungszeiten und insgesamt geringeren Kosten. Wir sprechen bei einem bewusst gestalteten, derartigen Prozess von 'front loading', d.h. eine echte Vorverlagerung von Entwicklungsaufwendungen, die dann auch qualitative Methoden der Zuverlässigkeitstechnik enthalten.

Aufgrund der zunehmenden Komplexität der Aufgabenstellungen in den Entwicklungsprojekten - oftmals bedingt durch den Einsatz von neuen Technologien, neuen Funktionsprinzipien oder neuen Werkstoffen - nimmt auch die Zahl möglicher Fehlerquellen zu, die Anzahl möglicher Fehler steigt und Ursache-/Wirkungsketten werden schwierig vorhersehbar.

⁶ Tatsächlich gebe ich hierfür keine explizite Quelle an, da die sogenannte *rule of ten* mittlerweile als ein gültiger und bekannter Zusammenhang anerkannt ist. Wenn wir in einer beliebigen Suchmaschine nach diesem Begriff suchen, finden wir unzählige Beiträge für die Darstellung von Zeitpunkt und Kostenaufwand korrektiver Aktionen.



1.1 Wie stellen Sie sich einen Entwicklungsprozess vor, der sich durch 'front loading' auszeichnet?

In einem Interview mit dem *manager magazin* sprach R. Berth über die Ergebnisse seiner Langzeitstudie zu Innovationen und Produktneuheiten⁷, für die er insgesamt 116 Unternehmen befragte. Dabei berichtete Berth branchenabhängig von einer Mißerfolgsquote von 30% bis 90% bei neuen Produkten am Markt sowie hohen Kosten und Entwicklungsaufwendungen für derartige Fehlschläge.

Solche Mißerfolge bei der Produktentwicklung lassen sich vermeiden, wenn frühzeitig die Kundenwünsche berücksichtigt und die relevanten Produktmerkmale und -parameter durch geeignete Analysen bereits in den entscheidenden Phasen - also zu einem möglichst frühen Zeitpunkt - ausreichend definiert und untersucht werden. Die genaue Beobachtung von Kundenwünschen und -erwartungen sind auch deshalb wichtig, weil beispielsweise Produkteigenschaften, die vom Kunden für das aktuelle Produkt noch als innovativ eingestuft werden, bereits in der nächsten Produktgeneration als selbstverständlich erachtet werden.

Neben steigenden Anforderungen an die Qualität, die Kosten und die Entwicklungszeiten werden die Produkte selbst zunehmend komplexer und erfordern die Integration unterschiedlicher Disziplinen wie Maschinenbau, Elektrotechnik und Elektronik sowie die Informationstechnik. Zudem erfolgt diese interdisziplinäre Zusammenarbeit oftmals in einem globalen Entwicklungsumfeld.

Wir haben bereits festgestellt, dass in den frühen Phasen eines Produktentwicklungsprozesses im Regelfall sehr wenige konkrete Informationen vorliegen. Das gilt gleichermaßen für den Verlauf des Entwicklungsprozesses, die spätere Lösung, Produkteigenschaften oder das fertige Produkt selbst. Damit bieten die frühen Phasen der Produktentwicklung nicht allein die Chance für eine frühe Weichenstellung für das gesamte Entwicklungsprojekt, sondern stellen auch eine große Herausforderung dar. Die Bedeutung dieser Phasen kann nicht hoch genug eingestuft werden: Zum einen sind sie sehr bedeutsam, da hier ein Großteil der Kosten und Produkteigenschaften festgelegt werden, obwohl die vorhandenen Informationen über das zu entwickelnde Produkt noch gering sind. Diese Unsicherheiten beeinflussen die zu Beginn eines Produktentwicklungsprozesses getroffenen konzeptionellen Entscheidungen sowie Qualität, Kosten und Entwicklungszeit eines zukünftigen Produktes ganz besonders. Zum anderen

⁷ Das Ergebnis seiner Untersuchungen fasste Berth recht hoffnungsfroh als *The Return of Innovation* zusammen; das *manager magazin* veröffentlichte das Interview mit dem Autor der Studie dann aber mit dem Titel *Der kleine Wurf*. Der Text findet sich in der Ausgabe 4 des Magazins im Jahr 1993.

können Fehlentscheidungen in dieser Phase zu katastrophalen späteren Folgen führen.

Wir finden auch in diesem Kontext wieder konkrete Angaben zu Kostenentstehung und -verantwortung: Für maschinenbaulich dominierte Produkte werden die späteren Kosten zu etwa 70% bereits durch Konstruktion und Entwicklung determiniert; zu diesem Zeitpunkt sind aber nicht einmal zehn Prozent der tatsächlichen Kosten entstanden (Bild 2). Gemeinsam mit der nachfolgenden Fertigungsvorbereitung werden tatsächlich bis zu 90% der späteren Produktkosten durch Materialauswahl, Produktgestaltung und Produktionsverfahren festgelegt - zu einem Zeitpunkt im Produktentstehungsprozess, bei dem gerade einmal zwölf Prozent realer Kosten entstanden sind. In den frühen Phasen werden quasi die gesamten späteren Produktkosten determiniert und die Stellschrauben späterer Phasen wie Produktion, Materialwirtschaft oder Vertrieb sind hinsichtlich einer Produktkostenoptimierung deutlich begrenzt.

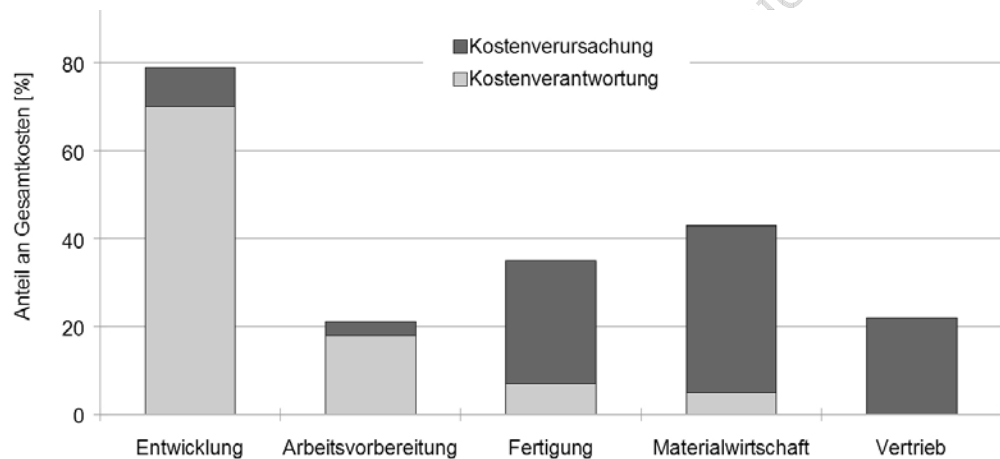


Bild 2 Kostenverantwortung und -verursachung in der Produktentstehung



1.2 Überlegen Sie mögliche Konsequenzen obiger Darstellung im Hinblick auf die zeitliche Zuordnung determinierter Kostenumfänge: Handeln die Einkaufsabteilungen großer Hersteller richtig?

1.2 Zuverlässigkeit als Aufgabe im Entwicklungsprozess

Häufig finden wir in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses eine Einteilung der Anforderungen in Funktionsanforderungen, Betriebsanforderungen, umweltbedingte Anforderungen sowie Anforderungen an die Gestalt, die neben Mensch-

Produkt- und Produkt-Mensch-Beziehungen auch die Bereiche Entwicklung und Herstellung umfassen. Funktionsanforderungen wie z.B. Leistungsdaten und Wirkungsgrade beschreiben die geforderte Funktion eines technischen Systems. Betriebsanforderungen beinhalten sämtliche Anforderungen, die die geforderte Funktion eines technischen Systems von der Inbetriebnahme bis zu endgültigen Stillsetzung aufrechterhalten, also zur Betriebserfüllung erforderlich sind und überwiegend auf den bestimmungsgemäßen Gebrauch ausgerichtet sind: Dazu gehören unter anderem die Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit.

Eines der größten Probleme im Entwicklungsprozess ist die Auswahl des besten Konzepts, das im Weiteren detailliert und anschließend realisiert werden soll. Aus der Menge der vorliegenden Ideen, die im Rahmen der Lösungssuche generiert worden sind, muss die geeignetste durch das Analysieren, Bewerten und Festlegen einer Lösung identifiziert werden. Auch das ist ein Prozess: Zunächst kommt die Analyse und auf deren Ergebnissen basieren die Bewertung aller Lösungsalternativen und final die Festlegung auf den bevorzugten Lösungsweg. Und wir verstehen, dass diese Bewertungs- und Entscheidungsprozesse eine hohe psychische Beanspruchung verursachen können, da bei den Entwicklern häufig eine Unsicherheit bezüglich der Zielvorstellungen besteht. Zudem wirkt das Bewußtsein der großen Tragweite solcher Entscheidungen belastend, insbesondere bei einem möglichen Mangel an Erfahrung und Wissen. Dazu kommt, dass teilweise auch Informationslücken vorhanden sind bzw. oft nur unsichere Annahmen über relevante Eigenschaften der Lösungen vorliegen.

Das Analysieren dient der Informationsgewinnung, was durch Zerlegen und Aufgliedern sowie durch Untersuchen der Eigenschaften einzelner Elemente und deren Interaktion erfolgt und dadurch zu einem besseren Verständnis des Systemverhaltens führt. Daneben spielt das frühzeitige Erkennen von Fehlern eine entscheidende Rolle, damit Maßnahmen zu deren Beseitigung zügig eingeleitet werden können. Daher soll anhand verschiedener systematischer und schnell durchgeführter Analysen eine Überprüfung wesentlicher Produkt- und Prozesseigenschaften erfolgen und so ein Maximum an Information über die späteren Eigenschaften ermittelt werden.

Mit dieser Logik gelangen wir zu den qualitativen Methoden wie der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA), aber auch zur Fehlerbaumanalyse. Wir betrachten also im Folgenden vorrangig die FMEA (*engl.: Failure Mode and Effect Analysis*) sowie die FTA (*engl.: Fault Tree Analysis*), wollen aber gleichzeitig sagen, dass dies nicht die einzigen qualitativen Methoden in der Zuverlässigkeits- und Sicherheitstechnik sind und weiterhin speziell die Fehlerbaumanalyse auch zu einer quantitativen Methode entwickelt werden kann.

Diese Risikoanalysen dienen zum präventiven und rechtzeitigen Erkennen und Beseitigen von Fehlern im Sinne von Fehlzuständen, Versagen und Ausfällen von Systemen, Anlagen und Prozessen. Dabei wird als Risiko die Kombination aus der Wahr-

scheinlichkeit eines Fehlers und der Bedeutung seiner Folgen verstanden und damit der Fehler als Ausgangspunkt jeglichen Risikos gesehen. Diese Verfahren machen bereits genaue Kenntnisse über das zu analysierende System notwendig, d.h. ein hohes Maß an Interdisziplinarität und Expertise muss in einem entsprechenden Team für die Durchführung dieser Analysen zusammengeführt werden.



- 1.3 Skizzieren Sie ein Diagramm, mit dem Sie eine Risiko-Einordnung qualitativ vornehmen können.

1.2.1 Grundzüge der FMEA

Die FMEA wird zum frühzeitigen Erkennen von potenziellen Fehlern sowie deren Auswirkungen auf die Produktfunktion im Rahmen des Produktentstehungsprozesses eingesetzt. Dabei kann sie sowohl bei Neuentwicklungen als auch bei Anpassungskonstruktionen angewendet werden, z.B. beim Einsatz neuer Werkstoffe oder alternativer Verfahren in Fertigung und Montage. Die FMEA erlaubt bereits in der Planungs- bzw. Entwicklungsphase die Identifikation kritischer Punkte. Zudem kann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Fehlers in einem Produkt, in einem Prozess oder einem System abgeschätzt werden⁸.

In der Regel werden die Fehlermöglichkeiten und deren mögliche Ursachen und Wirkungen in einem interdisziplinären Team systematisch analysiert, bewertet und Vorkehrungen zur Beseitigung bzw. Minderung der Gefahren definiert und eingeleitet.

Die FMEA wird auf der Basis eines Formblatts entwickelt, welches zur Unterstützung bei der Anwendung der Methode und zur Speicherung und Archivierung der FMEA-spezifischen Informationen dient. Die Methode hat mittlerweile eine weite Verbreitung gefunden und wird von zahlreichen Unternehmen mit unterschiedlicher Zielsetzung verwendet, z.B. zur:

- Kostenvermeidung,
- Erfüllung von Qualitätssicherungsnormen,
- Erfüllung von Versicherungsanforderungen,
- Einleitung von präventiven Qualitätsanforderungen.

⁸ Strenggenommen ist dieser Satz falsch: Die FMEA ist keine quantitative Methode und deshalb nicht dafür geeignet, Wahrscheinlichkeiten in einer solchen Form anzugeben. Immerhin ist es aber problemlos möglich, eine bestimmte Auftretenswahrscheinlichkeit gegenüber einem anderen Fehlerereignis vergleichend zu bewerten und in dieser Weise eine Abschätzung vorzunehmen. Das ist also näher an einer vergleichenden, qualitativen Aussagen wie z.B. „größer als“ und charakterisiert die FMEA als eine qualitative Methode der Risikoanalyse. Tatsächlich wird heute versucht, die FMEA mit probabilistischen Ansätzen in Richtung einer dann auch quantitativ aussagefähigen Methode weiter zu entwickeln – aber das sind aktuelle Forschungsarbeiten und deshalb noch kein Material für eine Übersichtsdarstellung wie in diesem Modul.

Neben der Konstruktions-FMEA⁹, bei der die anforderungsgerechte, konstruktive Gestaltung und Auslegung einzelner Komponenten (bzw. Teile oder Baugruppen) im Fokus stehen, gibt es noch die System-FMEA, bei der das funktionsgerechte Zusammenwirken und die Schnittstellen eines Systems analysiert werden. Bei der dritten Variante, der sogenannten Prozess-FMEA, wird die Prozessplanung und –ausführung auf mögliche Fehler zur Vermeidung von Fertigungs- und Montagefehlern hin untersucht.

Zu Beginn einer FMEA wird die Aufgabenstellung eingehend analysiert sowie alle für das weitere Vorgehen und für wichtige Entscheidungen relevanten Informationen gesammelt. Dabei steht das kritische Hinterfragen von Funktionen und Leistungen eines Produkts im Vordergrund, wobei relevante Aspekte von weniger maßgeblichen Aspekten zu trennen sind. Anschließend werden potenzielle Fehler, ihre Folgen und ihre möglichen Ursachen betrachtet.

Diese Analyseergebnisse und die erarbeiteten Ideen werden einer kritischen Bewertung unterzogen und mit der sogenannten Risiko-Prioritätszahl (RPZ) ausgedrückt, die – immer aus Sicht des potenziellen Fehlers – das Produkt aus Auftretenswahrscheinlichkeit „A“, Schwere der Auswirkung bzw. Bedeutung „B“ und Entdeckungswahrscheinlichkeit „E“ ist (Bild 3).

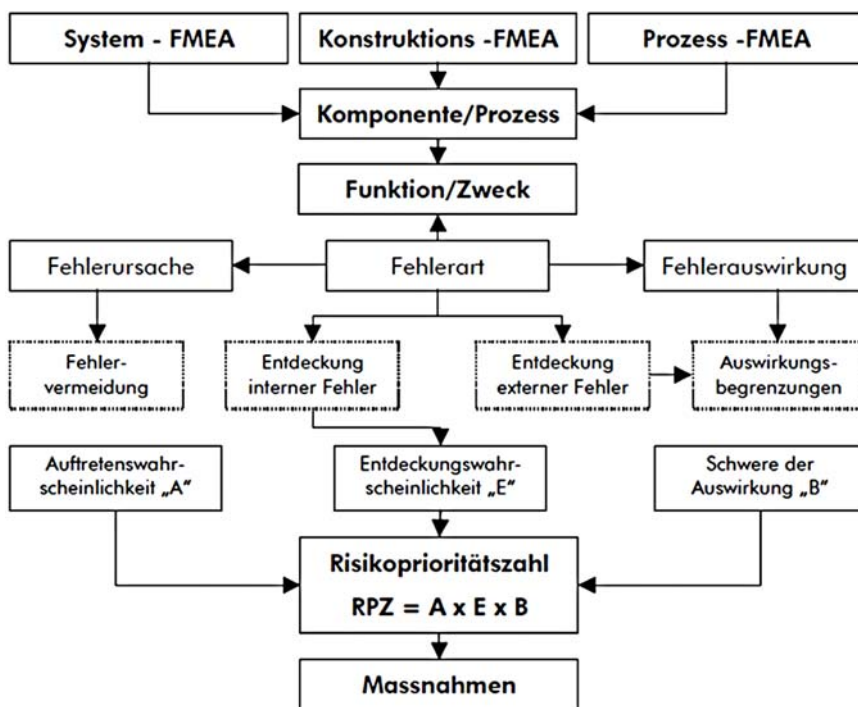


Bild 3 FMEA Methodik

⁹ Für die Konstruktions-FMEA finden wir häufig auch den Begriff der Design-FMEA.

Je nach Betrag dieser Risiko-Prioritätszahl gibt es einen Handlungsbedarf, der entsprechende Maßnahmen erforderlich macht. Den drei Faktoren „A“, „B“ und „E“ werden jeweils Werte von 0 bis 10 zugeordnet. Ist die RPZ kleiner als 120, wird das Risiko typischerweise als gering eingeschätzt; es werden dann keine unmittelbaren Maßnahmen eingeleitet.

Durch eine solche systematische Vorgehensweise, die auf viele produkt- oder prozessspezifische Betrachtungsumfänge anwendbar ist, können Fehlermöglichkeiten auf rein analytischem Wege umfassend festgelegt und frühzeitig präventive Maßnahmen eingeleitet werden. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Diagnose.

In dieser Weise ist die FMEA der ideale Komplementärprozess zum Weg des Konstruierens (Bild 4) und kann wichtige Impulse für eine bereits auf die spätere Zuverlässigkeit ausgerichtete Konstruktion liefern – wir sind dann bei den ersten Prozesselementen einer Strategie, die sich als *design to reliability* entwickeln lässt.

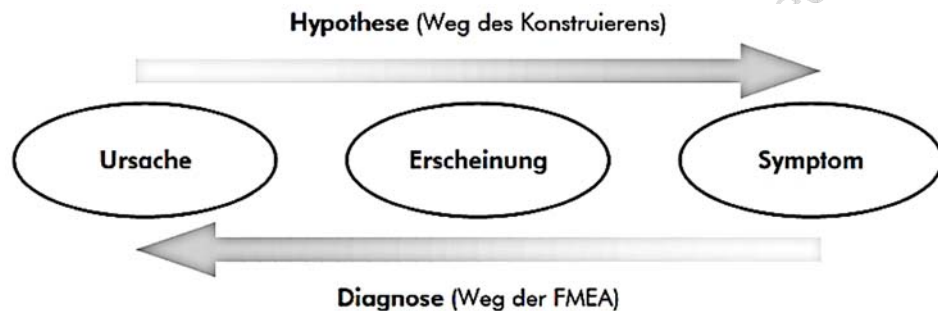


Bild 4 Konstruktions- und FMEA-Prozess

Gerade das strukturierte Vorgehen in der FMEA und das systematische Erfassen des vorliegenden Erfahrungswissens über mögliche Fehlerzusammenhänge und deren Qualitätseinflüsse ermöglichen es den Unternehmen, Wissen transparent zu machen und bei späteren Projekten wieder anzuwenden. Bei vielen Unternehmen erfolgt die Durchführung einer FMEA zu spät im Entwicklungsprozess, dann aber mit einem hohem Aufwand - wichtige Analysen zur Absicherung von relevanten Eigenschaften stehen damit erst zeitlich verspätet zur Verfügung. Tatsächlich wird die FMEA nur selten schon in der Konzeptphase eingesetzt, wo die Grundlagen für das spätere Produkt definiert werden, sondern die FMEA begleitet hauptsächlich die abschließenden Analysen und die Ableitung einer fertigungsgerechten Konstruktion in der Detaillierungsphase.

Ja, wir müssen feststellen, dass die FMEA ein sehr aufwändiges Verfahren ist, was sowohl für die Einführung der Methode in einem Unternehmen als auch für die Durchführung einer FMEA mit einem im Regelfall hohen zeitlichen und personellen Aufwand gilt [Wer12]. Häufig wird sie aus diesem Grund später als sinnvoll sowie in der Regel

nur bei kritischen Problemstellungen bzw. bei Produkten und Prozessen angewendet, die einen hohen Wert für das Unternehmen darstellen.

Und wir müssen ebenfalls zusammenfassen, dass die FMEA zur Absicherung von mehreren unterschiedlichen Konzepten in den frühen Phasen der Produktentwicklung weniger gut geeignet ist. Hierfür ist die induktiv ausgerichtete Methodik einer FMEA - also das dort genutzte Prinzip 'vom Einzelnen zum Gesamten' - nicht tauglich. Deshalb drehen wir die Betrachtungsrichtung einfach einmal um und schauen jetzt 'vom Gesamten zum Einzelnen': Das führt uns zur Fehlerbaumanalyse.

1.2.2 Grundzüge der Fehlerbaumanalyse

Bei der FTA gehen wir von einem zentralen Schadensereignis aus und versuchen es rückwärts bis hinunter auf die Ebene einzelner Bauteile in immer tiefer gehende Ursachen zu zerlegen. Von der Wirkung an der betrachteten Einheit ausgehend, betrachten wir die möglichen Fehlerursachen. Dabei entsteht ein Modell der funktionalen Systemstruktur, in dem die wesentlichen Zusammenhänge berücksichtigt werden. Das Ziel der FTA ist es, alle möglichen Ursachen und Ausfallkombinationen zu finden, die zu einem Auftreten eines Fehlers führen können und anschließend das Risiko für dessen Auftreten abzuschätzen. Die FTA trägt durch ihr systematisches Vorgehen und das Herausarbeiten von kausalen Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu einem grundlegenden Systemverständnis im Hinblick auf Risiko und Fehler bei.

Wir erkennen bereits nach diesen knappen Ausführungen: FMEA und FTA ergänzen sich ideal und sind in vielerlei Hinsicht komplementär zueinander.

1.2.3 Methodeneinsatz in den frühen Phasen der Produktentstehung

Um die Funktionssicherheit und -zuverlässigkeit eines Produktes bei allen zu erwartenden Betriebsbedingungen sicherzustellen, müssen relevante Eigenschaften bereits in sehr frühen Phasen der Entwicklung berücksichtigt und durch geeignete Maßnahmen abgesichert werden. Schwachstellen und Fehler eines Produkts verringern dessen Zuverlässigkeit, beeinträchtigen die Sicherheit und vermindern die Verfügbarkeit. In der DIN 40041 finden wir beispielsweise ein Ablaufschema zur Zuverlässigkeitsprüfung (Bild 5).

Hier finden wir einen interessanten Aspekt - nämlich die prozessuale Einteilung in die drei Phasen

- Zuverlässigkeitsprüfplanung zur Vorbereitung,
- Zuverlässigkeitsprüfung mit feststellenden und vergleichenden Tätigkeiten,
- abschließende Auswertung im Rahmen der Zuverlässigkeitsqualifikation.