



Entwicklung einer Methode zum Aufdecken
von potentiellen Fehlern in der Konstruktion

Von der Fakultät für Maschinenbau der
Technischen Universität Chemnitz

Genehmigte
Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur
- Dr.-Ing. -

vorgelegt

von Dipl. Wirtsch.-Ing. (Univ.) Dipl.-Ing. (FH) Lars Henze
geboren am 02. Dezember 1974 in Wismar
eingereicht am 13. Januar 2008

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Michael Dietzsch
Prof. Dr.-Ing. Martin Schwalm
Dr.-Ing. Torsten Hartmann

München, den 24. Juli 2008

Bibliographische Beschreibung

Henze, Lars

Thema

Entwicklung einer Methode zum Aufdecken von potentiellen Fehlern in der Konstruktion

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung, Chemnitz, 2008

111 Seiten

32 Abbildungen

14 Tabellen

81 Literaturzitate

Referat

Vorbeugende QM-Techniken operationalisieren die Funktionen des Qualitätsmanagements (QM) mit dem Ziel einer abgesicherten Produktentstehung. Sie leisten einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Produktqualität. Jedoch zeigen Untersuchungen, dass deren Einsatz häufig sehr große Probleme bereitet.

Die vorliegende Arbeit untersucht vordergründig die FMEA, QFD und DRBFM. Neben der Beschreibung ihrer Anwendungsbereiche, werden die Vorteile und Schwächen gegenübergestellt. Es gilt, die Schwächen mit Hilfe einer neu entwickelten Methode zu umgehen bzw. zu eliminieren.

Die Entwicklung zentraler Schwerpunkte zur Erreichung von Null-Fehlerqualität liefert die Basis für die Erstellung einer Checkliste in Form eines Fragenkataloges. Ziel soll es sein, durch die Systematik des Fragenkataloges und Wahl des Antwortformates Fehlerursachen zu vermeiden.

Schlagwörter

FMEA, QFD, DRBFM, vorbeugende QM-Technik, Null-Fehlerqualität, Fragenkatalog, Checkliste, Antwortformat

Entwicklung einer Methode zum Aufdecken von potentiellen Fehlern
in der Konstruktion

| Inhaltsverzeichnis | Seite |
|--|-----------|
| KURZZEICHENVERZEICHNIS | 7 |
| 1 EINLEITUNG | 8 |
| 1.1 Hinführung zur Problemstellung | 9 |
| 1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit | 11 |
| 2 STAND DER FORSCHUNG VON VORBEUGENDEN QM-TECHNIKEN | 14 |
| 2.1 Überblick zu vorbeugenden QM-Techniken | 17 |
| 2.2 Nutzen und Anwendbarkeit vorbeugender QM-Techniken | 21 |
| 2.3 Bewertung der wichtigsten vorbeugenden QM-Techniken | 23 |
| 2.3.1 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) | 23 |
| 2.3.1.1 Beschreibung der FMEA | 23 |
| 2.3.1.2 Vorteile der FMEA | 31 |
| 2.3.1.3 Schwächen der FMEA | 31 |
| 2.3.2 Quality Function Deployment (QFD) | 34 |
| 2.3.2.1 Beschreibung der QFD | 34 |
| 2.3.2.2 Vorteile der QFD | 43 |
| 2.3.2.3 Schwächen der QFD | 43 |
| 2.3.3 Design Review Based on Failure Mode (DRBFM) | 45 |
| 2.3.3.1 Beschreibung der DRBFM | 45 |
| 2.3.3.2 Vorteile der DRBFM | 48 |
| 2.3.3.3 Schwächen der DRBFM | 48 |
| 3 ZWISCHENFAZIT, PROBLEMSTELLUNG | 50 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | ABGELEITETE ANFORDERUNGEN AN EINE NEUE VORBEUGENDE QM-TECHNIK | 56 |
| 5 | ENTWICKLUNG EINER NEUEN VORBEUGENDEN QM-TECHNIK | 60 |
| 5.1 | Aufbau und Systematik des Fragenkataloges | 61 |
| 5.1.1 | Fragestellungen für die Produktentstehungsphasen Konstruktion, Fertigung und Montage | 63 |
| 5.1.1.1 | Fragestellungen für die Konstruktion | 63 |
| 5.1.1.2 | Fragestellungen für die Fertigung | 77 |
| 5.1.1.3 | Fragestellungen für die Montage | 79 |
| 5.1.2 | Motivationspsychologischer Hintergrund des Fragenkataloges | 81 |
| 5.2 | Inhalt und Anwendung des Fragenkataloges | 82 |
| 5.3 | Vergleich der Lösungsinhalte des Fragenkataloges mit den Defiziten der FMEA, QFD und DRBFM | 83 |
| 6 | VALIDIERUNG UND ERPROBUNG ANHAND EINES EIGENS GEWÄHLTEN INDUSTRIEPROJEKTES | 87 |
| 6.1 | Problemstellung | 87 |
| 6.2 | Erstellung des Fragenkataloges zur Problemlösung | 88 |
| 7 | ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK | 97 |
| 7.1 | Überblick und Ergebnisse | 97 |
| 7.2 | Ausblick | 99 |
| | Literatur- und Quellenverzeichnis | 100 |
| | Abbildungsverzeichnis | 107 |
| | Tabellenverzeichnis | 108 |
| | Anhang | 109 |

Kurzzeichenverzeichnis

| | |
|---------------------|--|
| Abb. | Abbildung |
| A_{Fehler} | Auftretenswahrscheinlichkeit des Fehlers |
| ASI | American Supplier Institute |
| B_{Fehler} | Bedeutung des Fehlers |
| bzw. | beziehungsweise |
| ca. | circa |
| d. h. | das heißt |
| DIN | Deutsches Institut für Normung e. V. |
| DoE | Design of Experiments |
| DR | Design Review |
| EDV | Elektronische Datenverarbeitung |
| E_{Fehler} | Entdeckungswahrscheinlichkeit des Fehlers |
| EN | Europäische Norm |
| ETA | Event Tree Analysis |
| evtl. | eventuell |
| F | Fertigung |
| FMEA | Failure Mode and Effect Analysis |
| FTA | Failure Tree Analysis |
| ggf. | gegebenenfalls |
| ggü. | gegenüber |
| GPS | Geometrische Produkt-Spezifikation |
| HoQ | House of Quality |
| ISO | International Organisation for Standardization |
| IT | Informationstechnologie |
| JIS | Just in Sequence |
| JIT | Just in Time |
| K | Konstruktion |
| KE | Komponentenebene |
| KMU | Kleine und mittelständische Unternehmen |
| KVP | Kontinuierlicher Verbesserungsprozess |
| M | Montage |
| ME | Merkmalsebene |
| MIT | Massachusetts Institute of Technology |
| PEP | Produktentstehungsprozess |
| QFD | Quality Function Deployment |
| QK | Qualitätskosten |
| QM | Qualitätsmanagement |
| QS | Qualitätssicherung |
| RPZ | Risikoprioritätszahl |
| SPC | Statistical process control |
| Tab. | Tabelle |
| usw. | und so weiter |
| vs. | versus |
| z. B. | zum Beispiel |

1 Einleitung

„Wir haben nie die Zeit, etwas gleich richtig zu machen,
wir haben aber immer die Zeit, es noch einmal zu machen.“ [MAS 2007]

Das Zitat macht deutlich, dass zur Erreichung einer Null-Fehlerproduktion ein grundsätzliches Umdenken erforderlich ist. Ziel eines jeden Unternehmens sollte sein, in den frühen Phasen der Produktentwicklung ein Höchstmaß an Prozessstabilität hinsichtlich des Konstruktionsablaufes garantieren zu können. Dies setzt voraus, dass der Konstruktionsprozess sowohl effektiv als auch effizient ist. Die Effektivität einer Entwicklung dient als Indikator dafür, ob „das Richtige getan“ wird oder wurde; Effizienz ist eine Messgröße bei der Beantwortung der Frage, ob „das Richtige getan“ wird oder wurde [SPE 1991].

Nach Göbbert wird die Qualität von Produkten auch zukünftig zu den entscheidenden Differenzierungskriterien auf dem Weltmarkt zählen [GÖB 2003]. Bedingt durch das bedeutende wirtschaftliche Potential der Fehlervermeidung sind vorbeugende QM-Techniken in den letzten Jahren verstärkt Gegenstand der qualitätswissenschaftlichen Forschung gewesen [GÖB 2003]. Nur wer in kürzester Zeit auf die sich ändernden Kundenanforderungen im Produktlebenszyklus reagieren kann und gleichzeitig ein Höchstmaß an Produktqualität vorweist, wird langfristig entscheidende Ressourcen in die Entwicklung weiterer Produkte investieren können [SCH 2006].

Die Autoren Dietzsch und Althaus [DIE (2) 1999] sehen die Erstellung eines Qualitätsmanagementsystems und die Anwendung vorbeugender QM-Techniken als Voraussetzung für eine verbesserte Unternehmensentwicklung an. Als weiteren Schwerpunkt nennen sie in diesem Zusammenhang eine stärkere Kundenorientierung aller Prozesse und Mitarbeiter im Unternehmen [DIE (2) 1999].

Das Ziel, diesen veränderten Rahmenbedingungen entgegen zu treten, kann nur erreicht werden, wenn sich Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren und gleichzeitig nach einer Verbesserung ihrer Prozessabläufe streben [SCH 2007]. Aus diesem Grund muss gerade der frühen Phase der Produktentwicklung besonderes Augenmerk geschenkt werden. Hierin werden sowohl entscheidende Festlegungen hinsichtlich der Fehlerrate bei

Produktionsbeginn getroffen als auch die Weichen für den gesamten weiteren Produktlebenszyklus gestellt.

Die konstruktive Auslegung von Bauteilen oder Baugruppen stellt ein Höchstmaß an Integrationsgeschick dar. Es gilt, den besten Kompromiss aus anforderungsbedingter Lastenheftvorgabe, aus Sicherheits- und Packagevorgaben¹ aber auch Designwünschen zu finden. Dieses Ziel erfordert den konsequenten Einsatz von Regeln und Erkenntnissen in der nötigen konstruktiven Detaillierung. Frühzeitige Entscheidungen sind wohl überlegt zu treffen, denn diese verursachen maßgeblich den weiteren Verlauf der Entwicklung, der späteren Fertigung und nicht zuletzt der Produktqualität.

Die deutschsprachige Normung definiert „**Qualität**“ als „*Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt*“ [DIN 9000 2005]. Gewährleistungen und damit Reklamationen bilden den Gegenpol zur Qualität, da sie dann auftreten, wenn Anforderungen nicht erfüllt werden. Die Häufigkeit von eintretenden Gewährleistungsfällen ist somit ein Maß für „*Nicht-Qualität*“.

Nach der DIN 55350-11 ist „Qualität die Gesamtheit von Eigenschaften und Merkmalen eines Produktes oder einer Tätigkeit, die sich auf deren Eignung zur Erfüllung gegebener Forderungen bezieht“ [DIN 55350-11].

1.1 Hinführung zur Problemstellung

Produktgestaltung bedeutet Schaffung von Neuem. Damit ist das technische Gestaltungsproblem verbunden, ein Produkt zu konzipieren, das die gewünschten Anforderungen erfüllt.² Der Produktentwicklungsprozess lässt sich als ein Prozess der schrittweisen Reduktion von Unklarheiten auffassen, in dessen Verlauf eine funktionale Produktbeschreibung in eine physische überführt wird [GÖP 1998].

Die Anwendung vorbeugender QM-Techniken kann ein wirksames Hilfsmittel zur Reduktion und Absicherung der soeben beschriebenen Unklarheiten im Produktentwicklungsprozess sein. Dazu werden in der Literatur mehrere Anwendungsbeispiele aufgeführt, wie durch den Einsatz der vorbeugenden FMEA-Methodik Fehler frühzeitig entdeckt und durch Implementierung entsprechender Abhilfemaßnahmen vermieden werden können. [DIE (1) 1999]. Ein Blick auf weltweit

¹ Im Package werden alle wichtigen Grundmaße des Produktes festgelegt. Der Begriff Package wird hauptsächlich in der Fahrzeugindustrie verwendet. Dabei werden nicht nur die Größe, sondern auch die Sitzposition, die Sichtverhältnisse und die Anordnung der Grundbedienelemente bestimmt. Das Ergebnis einer Packagefestlegung ist der Packageplan.

² Ein Produkt lässt sich allgemein definieren als eine „vom Unternehmen am Markt angebotene Leistung, die durch ihre spezifischen Funktionen und Eigenschaften geeignet ist, konkrete Bedürfnisse von Kunden nutzbringend zu befriedigen“ [SAB 1996].

anerkannte Qualitätsstudien zeigt, dass trotz der Anwendung von vorbeugenden QM-Techniken erhebliche qualitative Unterschiede zwischen Produkten bestehen. Diese können beispielsweise mit Hilfe der Kundenzufriedenheit gemessen werden.

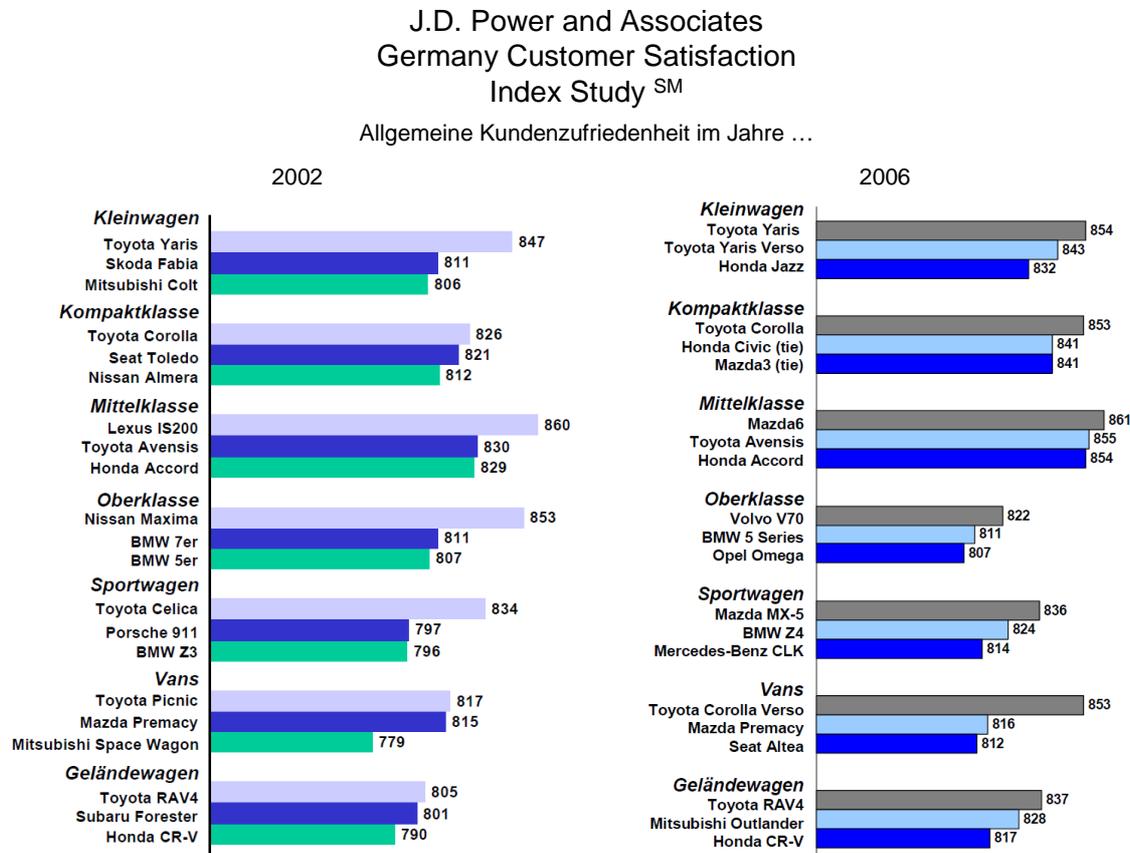


Abb. 1: J.D. Power Studien – Vergleich der Jahre 2002 und 2006 [J.D.P. 2002/06]

Der Autor Schukraft beschreibt auf der Grundlage einer J.D.Power-Kundenzufriedenheitsstudie [SCH 2002], welche die vom Kunden gemeldeten Fahrzeugbeanstandungen wiedergibt, den Zusammenhang zwischen Fehlerentstehung und Fehlerbehebung. Hierbei stellt Schukraft fest, dass die Entdeckung und Behebung der Fehler mit über 80% erst in der Fertigung und während der Produktnutzung einsetzt [PFE 1994]. Diese Phasenverschiebung von Fehlerentstehung und Fehlerbehebung bedeutet einen wesentlich höheren finanziellen Aufwand als die Beseitigung in der Planungs- und Entwicklungsphase. In diesem Zusammenhang erhöhen sich die Fehlerbehebungskosten exponentiell von Stufe zu Stufe ab dem Produktentstehungsprozess [SCH 2002]. Hieraus leitet sich die Notwendigkeit der Anwendung vorbeugender QM-Techniken ab, welche ab der frühen Phase der Produktdefinition das Entstehen von Fehler vermeiden. Somit soll erreicht werden, dass Fehler, die hinterher durch meist aufwendige Korrekturmaßnahmen wieder beseitigt werden müssen, gar nicht erst entstehen. Nach Jahn entstehen 75% der Fehler in der Serienentwicklungsphase. Diese Fehler werden jedoch zu 80% in der ersten Phasen der Serienfertigung (Produktionsphase) behoben [GÖB 2003]. Dies lässt im

Umkehrschluss die Frage zu, warum diese Fehler entstehen und wann bzw. ob überhaupt die verbliebenen 20% der Fehler abgestellt werden.

Ein weiteres Indiz für die Schwere der vorliegenden Problematik liefert die steigende Anzahl von Rückrufen oder Pannenstatistiken des ADAC. So wurde im Jahre 2004 mit 25 Pannen pro 1000 zugelassene Fahrzeuge in Deutschland ein Fünfjahreshoch gemessen [DUD 2005]. Besonders fielen Qualitätsmängel in den Bereichen Elektrik und Elektronik auf. Nicht selten waren die betroffenen Firmen erheblichen Gewährleistungskosten ausgesetzt. Hatte ein Fahrzeug der Golfklasse 1992 im Schnitt noch drei elektrische Steuergeräte, so ist diese Anzahl aktuell auf 25 gestiegen [BRÜ 2005]. Im Premium-Segment werden bis zu 65 Steuergeräte eingesetzt. Die ADAC Pannenstatistik zeigt schon jetzt, dass an der allgemeinen Fahrzeugelektronik die mit Abstand am häufigsten auftretenden Mängel zu finden sind [BRÜ 2005].

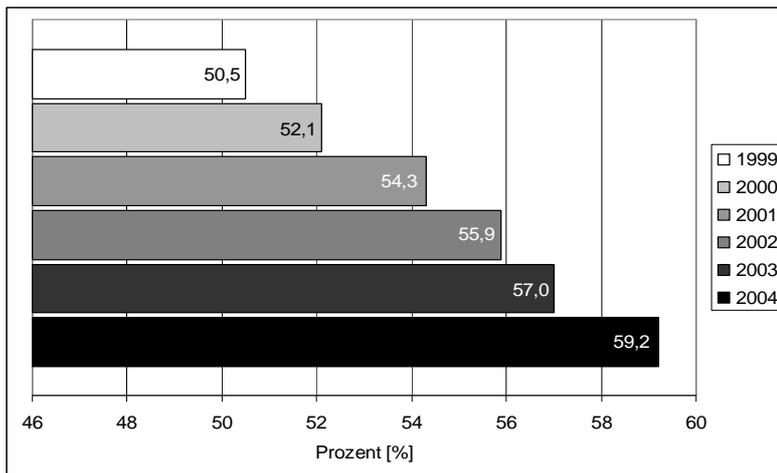


Abb. 2: Anteil der Fahrzeugausfälle im Elektrik- und Elektronikbereich [DUD 2005]

Zu dem Elektronikproblem hinzu kommt die Proliferation³ der Modellreihen. In kürzerer Zeit – Time to Market – sind um das Grundmodell herum neue Varianten notwendig. Ähnlich wie bei der Elektronikkomplexität sind auch bei der Komplexität durch Proliferation die deutschen Premiumhersteller unter besonderen Zugzwang. Das Markenpremium benötigt eine fundierte Basis, welche zum einen in der Schaffung neuer Innovationen, zum anderen die Abdeckung neuer Nischensegmente fordert.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Zur Lösung der beschriebenen Problemstellung wird in dieser Arbeit eine zentrale These aufgestellt, deren Gültigkeit nachgewiesen werden soll:

³ Proliferation [lat.]: Mehrung (vgl. Duden)

„Unter konsequentem Einsatz vorbeugender QM-Techniken muss eine Null-Fehlerproduktion möglich sein.“

Rückrufaktionen und hohe Gewährleistungsaktionen sind deutliche Anzeichen dafür, dass momentan nur bedingt dieses Ziel erreicht wird. Die Autorin Göbbert [GÖB 2003] beschreibt die daraus entstehende Problematik folgendermaßen:

„Der Nachweis des Nutzens von präventiven, qualitätssichernden Maßnahmen ist schwierig, da vermiedene Fehler nicht belegt werden können.“ [GÖB 2003]

Diese Erkenntnis ähnelt dem Ergebnis einer MIT-Studie⁴:

„Nobody ever gets credit for fixing problems that never happened.“ [SCH 2005]

Die Beschäftigung mit dem Problem Nullfehlerstrategie verdeutlicht, dass Produktqualität von zahlreichen Faktoren und Faktorengruppen abhängen muss. Durch eine umfangreiche Recherche über die Anwendung ausgewählter vorbeugenden QM-Techniken sollen dem Leser die Einsatzmodalitäten und die Wirksamkeit der einzelnen Instrumente vorgestellt werden. Eine Betrachtung der in der Literatur vorhandenen Aussagen zur Anwendung von Methoden zum Aufdecken potentieller Fehler soll im Kapitel „Stand der Forschung“ ausgeführt werden.

Nur eine Konzentration auf ausgewählte Teilgebiete des Problems lässt eine erfolgreiche Themenbearbeitung erwarten. Pragmatische Überlegungen führen dazu, dass insbesondere die Suche nach zielgerichteten vorbeugenden QM-Techniken in den frühen Phasen der Entwicklung für Unternehmen von größter Bedeutung sind. Im Mittelpunkt der Arbeit stehen deshalb die Zielwirksamkeit sowie die spezifischen Probleme in ihrer Anwendung. Auf diesem Hintergrund sollen die derzeitigen Defizite der Methoden zur Fehlervermeidung identifiziert und näher untersucht werden.

Weiter stellt sich die vorliegende Arbeit zur Aufgabe, einen Beitrag zur Qualitätsplanung innerhalb eines systematischen Verbesserungsprozesses in der Industrie zu leisten. Hierzu ist es notwendig, die daraus resultierenden Konsequenzen, welche sich für den Aufbau und der Struktur derzeitiger Methoden ergeben, auf eine neue vorbeugende QM-Technik zu übertragen. Somit wird die Entwicklung eines neuen Lösungsansatzes angestrebt.

Zur Umsetzung der beschriebenen Ausführungen soll die vorliegende Arbeit in vier Untersuchungsbereiche untergliedert werden:

⁴ MIT: Massachusetts Institute of Technology

Konzeptanalyse

Auf Basis des Nutzen und der Anwendbarkeit sind die wichtigsten Methoden zur Fehlervermeidung zu analysieren und näher zu beschreiben. Hierzu zählt zum einen die Definition der Ziele und Anwendungsbereiche, zum anderen die Zuordnung des zeitlichen Einsatzes. Weiter sollen die Vorteile und Schwächen herausgestellt werden. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die weiteren Ausführungen.

Konzeptgestaltung

Auf der Grundlage der Prozessanalyse wird eine Herangehensweise entwickelt, welche die These vertritt, dass unter konsequentem Einsatz von vorbeugenden QM-Techniken eine Erzielung von Null-Fehlern an Bauteilen der mechanischen Fertigung erreicht werden kann.

Konzeptunterstützung

Die Entwicklung einer neuartigen Methode beruht auf der Erstellung eines Fragenkataloges. Dieser beinhaltet eine gezielte Untersuchung wesentlicher Schwerpunkte zur Erreichung von Null-Fehlerqualität in den Produktentstehungsphasen Konstruktion, Fertigung und Montage.

Die Ausarbeitung der Kriterien Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme eines bestehenden Produktes, dienen zur zielgruppenorientierten Verwendung des Fragenkataloges. Zentraler Fokus der Entwicklung des Fragenkataloges ist die Steuerung der Produktqualität sowohl in den frühen Phasen der Konstruktion, als auch Fertigung und Montage.

Konzepterprobung

Die vorbeugende QM-Technik ist durch die exemplarische Anwendung an einem eigens gewählten Industrieprojekt zu plausibilisieren und näher zu erläutern. Es gilt, die Wirksamkeit der neu entwickelten Herangehensweise prototypisch umzusetzen und zu testen.

2 Stand der Forschung von vorbeugenden QM-Techniken

Vorbeugende QM-Techniken zeichnen sich durch ein strukturiertes, systematisches Vorgehen zur Verringerung der Komplexität aus und unterstützen die operative Umsetzung des Qualitätsmanagements. Weiter drückt der Begriff die Gesamtheit der Methoden und Instrumente aus, die auf dem Gebiet des Qualitätsmanagements eingesetzt werden [KAM 2003].

Das Qualitätsmanagement hat als übergreifende Unternehmensstrategie einen erheblichen Einfluss auf den Erfolg der Produktplanung und -entwicklung [HAR 1994]. In der Literatur werden dazu zahlreiche Methoden behandelt (siehe Kapitel 2.1), die in den jeweiligen Entwicklungs- und Konstruktionsphasen zum Einsatz kommen.

In den vergangenen Jahren ist eine enorme Mannigfaltigkeit verschiedenster vorbeugender QM-Techniken entstanden, die alle ihr spezielles Anwendungsgebiet haben. Dies erfordert stets die Analyse des Produktentwicklungsprozesses bezüglich seiner einzelnen Meilensteine und deren Zielsetzungen.

Die Sinnfälligkeit zur Einbeziehung aller Phasen im Produktentstehungsprozess – von der Definition oder Initiierung eines Produktes über die Entwicklung, Ablaufplanung, Fertigung, Montage, Prüfung bis zum Einsatz – in die Maßnahmen eines Qualitätsmanagements wird durch die lückenlose Integration der Methoden zur Fehlervermeidung bestimmt.

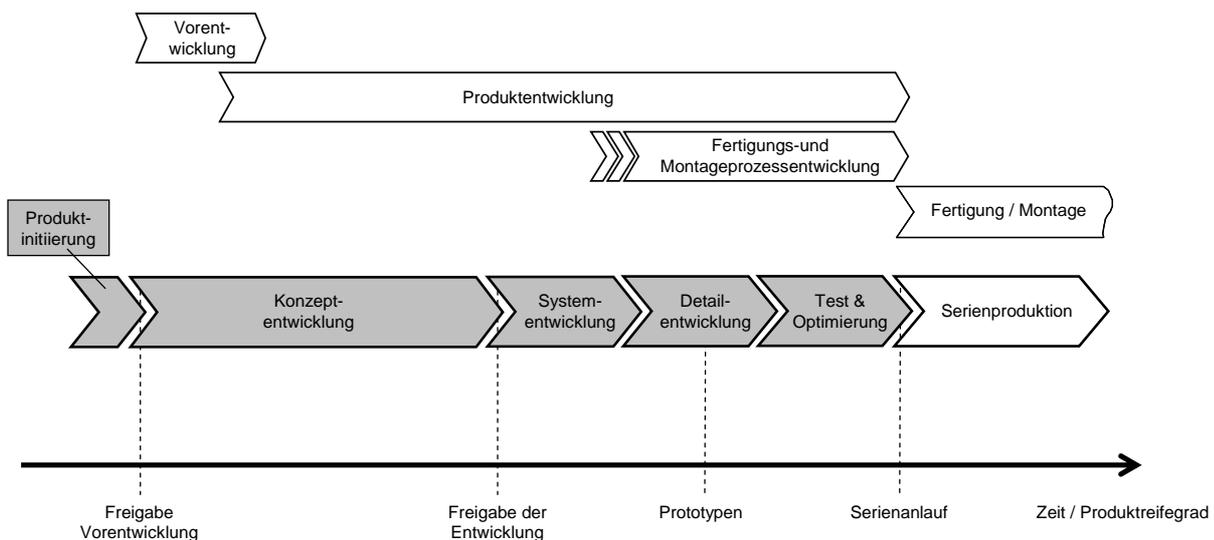


Abb. 3: Entwicklungsphasen eines Fahrzeuges [in Anlehnung an VDA (3) 2003]

Den Entwicklungsphasen kann entnommen werden, dass die Produktentstehung grundsätzlich in die Konstruktion, Fertigung und Montage untergliedert werden kann.

Diese Produktentstehungsphasen werden für die weiteren Ausführungen dieser Arbeit zu Grunde gelegt.

Die Erreichung eines Null-Fehlerkonzeptes unterliegt der Forderung, sich mit den näheren Abläufen und Gegebenheiten eines Konstruktionsprozesses vertraut zu machen. Nur durch die Untersuchung des Konstruktionsablaufes kann eine fehlerfreie Produktgestaltung erlangt werden. Dieser beinhaltet neben komplexen Denk- und Handlungsvorgängen unterschiedliche Bearbeitungs-, Beurteilungs- und Entscheidungsabschnitte. Bedingt durch die Unterschiede in den Aufgabenstellungen⁵, führt ein derartiges Vorgehen zu unterschiedlichen Konstruktionsaufgaben [FRÖ 1996].

| | |
|-------------------------------|---|
| Neukonstruktion | Erstellung neuer Arbeitsprinzipien bzw. neuartige Kombination bekannter Elemente |
| Variantenkonstruktion | Variieren von Größe und / oder Anordnung, ohne dadurch neuartige Probleme durch Werkstoffe, Beanspruchungen usw. zu verursachen |
| Anpassungskonstruktion | Anpassung und Variation einer bereits ausgearbeiteten und bewährten Grundkonstruktion; Neukombination ihrer Baugruppen zu einer kundenspezifischen Gesamtlösung unter der Prämisse, einzelne Baugruppen oder Einzelteile neu konstruieren zu müssen |

Tab. 1: Unterscheidung von Konstruktionsaufgaben [FRÖ 1996]

Die im weiteren Verlauf der Arbeit verwendeten Konstruktionsaufgaben Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme sind inhaltlich deckungsgleich mit denen von Fröhner und Lorani [FRÖ 1996]. Daher sollen die Begriffe Varianten- und Anpassungskonstruktion als Unterteilung der Konstruktionsaufgabe Weiterentwicklung verstanden werden.

Aufgrund der Vielfalt von unterschiedlichen Aufgabenstellungen gibt es keine einheitliche Vorgehensweise zur Lösung von Konstruktionsproblemen. Das Vorgehen muss damit dem jeweiligen Problem angepasst werden, um erfolgreich zu einer Lösung zu gelangen. Da der Entwickler zu Beginn seiner Arbeit weder die Lösung noch den Lösungsweg kennt, kann nur mit Hilfe eines iterativen Vorgehens das Schließen von Informationslücken erreicht werden [LIN 2007]. In der Praxis werden hierzu oftmals abstrakte und unvollständige Lösungen entworfen, die dann schrittweise konkretisiert werden.

⁵ VDI 2221 (1993, S.6): Der Inhalt der Aufgabenstellungen, mit denen der Entwickler konfrontiert ist, wird nach der Herkunft der Aufgabenstellung (z. B. externer Kundenauftrag), nach der Fertigungsart (z. B. Einzelfertigung) oder nach dem Neuheitsgrad der Konstruktion festgelegt.

Gerade auf dem Gebiet der Neuentwicklung, welche eine Vielzahl und Vielfalt unterschiedlicher Anforderungen aufweist, ist die Arbeit in interdisziplinären Teams unumgänglich. Zum einen, weil in der Phase der Ideenfindung nur wenig über die Zuordnung der Teilaufgaben auf die verschiedenen Teammitglieder bekannt ist, zum anderen, weil eine Zuordnung von Verantwortlichkeiten und Kompetenzträgern noch ungewiss ist.

Die Lösung von Problemen innerhalb der Produktentwicklung kann mit Hilfe einer von Ullmann [ULL 1997] entwickelten Darstellung beschrieben werden [ULL 1997]. Er weist darauf hin, dass es unterschiedliche Lösungswege gibt, die alle zielführend sein können. Jedoch wird der eigentliche Problemlösungsprozess von einem so genannten Problemlöser (allg. Wissen; Prozesswissen) und von Methoden bzw. Hilfsmitteln beeinflusst. Diese Randvoraussetzungen sind entscheidend für die Gestaltung des Lösungsprozesses.

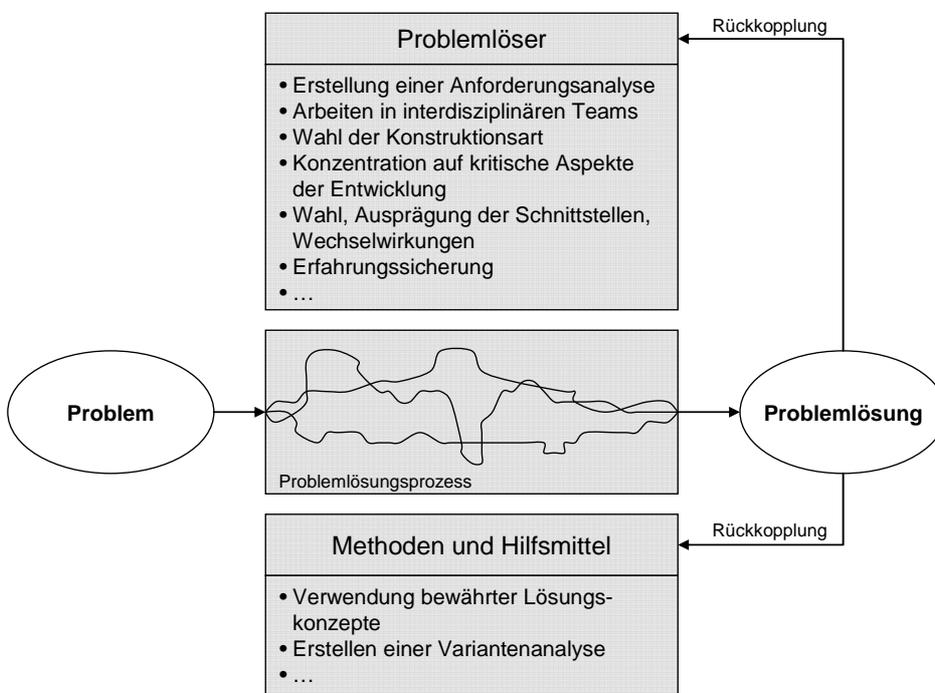


Abb. 4: Darstellung des Produktentstehungsprozesses [in Anlehnung an ULL 1997]

Innerhalb der frühen Phase der Produktentwicklung werden die Weichen für das gesamte Entwicklungsprojekt gestellt. Aufgrund dieser zentralen Bedeutung hat die Wahl der konzeptionellen Entscheidungen erheblichen Einfluss auf die qualitative Ausführung des Produktes. So können Fehlentscheidungen in dieser Phase zu schwerwiegenden Spätfolgen führen. Diese können erst bei der Herstellung oder gar Nutzung entdeckt werden und dadurch neben hohen Kosten auch Imageprobleme verursachen.

Stets ist darauf zu achten, dass die entwickelten Lösungsvorgänge zur Fehlervermeidung auf Aktualität und Anwendung sowohl dem Feld „Problemlöser“ als auch dem Feld „Methoden und Hilfsmittel“ widerspiegelt bzw. zurückgeführt werden. Die

identifizierten Felder zur Lösungsfindung einer geeigneten und qualitativ abgesicherten Konstruktion entsprechen im Wesentlichen den Schwerpunkten zur Erreichung eines Null-Fehlerkonzeptes. Diese müssen daher vor bzw. während der Produktentwicklung kontinuierlich in einem Soll-Ist-Prozess abgeglichen werden.

Die Wirksamkeit des vorbeugenden Qualitätsmanagements innerhalb eines Null-Fehlerkonzeptes basiert auf der Grundlage, sich mit den Einsatzmodalitäten und Zielsetzungen der einzelnen vorbeugenden QM-Techniken auseinanderzusetzen. Dazu sollen im folgenden Kapitel die einzelnen vorbeugenden QM-Techniken beschrieben werden.

2.1 Überblick zu vorbeugenden QM-Techniken

Zu den bekanntesten vorbeugenden QM-Techniken zählt die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (**FMEA**: engl. Failure Mode and Effect Analysis). Es wird die Zielsetzung verfolgt, nach Abschluss eines Entwicklungsabschnittes mögliche Fehler zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten. Daraus leitet sich der hohe Verbreitungsgrad innerhalb der Anwendung der Methode zur Fehlervermeidung ab.

Die vorbeugende QM-Technik wird durch standardisierte Formulare unterstützt. Zunächst wird darin eine Ausgangssituation festgelegt, in welcher alle Komponenten als fehlerfrei angesehen werden. Nun werden sämtliche mögliche Ausfallkombinationen und deren Auswirkungen auf das zu untersuchende System und ggf. dessen Umgebung analysiert und bewertet. Der größte Einsatzbereich bezieht sich auf die Produkt- und Prozessplanung [PFE 1998]. Die FMEA wird laut einer Umfrage von Automobilzulieferern mit einem Verbreitungsgrad von 75% eingesetzt [KER 1991].

Die Fehlerbaumanalyse (**FTA**: engl. Fault Tree Analysis) verfolgt die Zielsetzung, eine abgesicherte Aussage über das Verhalten eines Systems hinsichtlich des Auftretens eines zu definierenden Fehlers zu treffen [ARN 1992]. Darüber hinaus wird eine Abschätzung der Ausfallwahrscheinlichkeit angestrebt [PFE 2001]. Das zu untersuchende System und sein Ausfallverhalten müssen in einer Ursache-Wirkungskette abgebildet werden können, um ein hohes Maß an Übereinstimmung zwischen der Analyse und der Realität zu erreichen [DIN 25424-1 1981].

Im Gegensatz zur FMEA ermittelt die FTA logische Verknüpfungen zwischen Ursachen und daraus resultierenden Folgen [VDI 2247 1994]. Dazu ist eine genaue Kenntnis des gesamten technischen Systems erforderlich [ARN 1992].

Um die Funktion eines technischen Systems näher zu untersuchen, genügt es, das technische System als „Black Box“ zu betrachten. Hierzu sind mehrere Ein- und Ausgaben nötig, um die Funktionen erfüllen zu können [PFE 2001]. Dadurch kann auf

Abweichungen von bereits gestellten Zielen geschlossen werden. Die FTA eignet sich daher besonders gut zur Betrachtung der Baugruppen und der Ausfallhäufigkeit des Systems bei deren Kombination.

Die Ereignisablaufanalyse (**ETA**: engl. Event. Tree Analysis) ermöglicht in Analogie zur Fehlerbaumanalyse FTA eine einfache und übersichtliche Darstellung von Ereignisabläufen mit ihren Verzweigungen in Form eines Ablaufdiagrammes. Sie verfolgt das Ziel der Untersuchung von Störfallabläufen [PFE 2001]. Bei der Fehlerbaumanalyse wird ein unerwünschtes Ereignis vorgegeben und anschließend die Ursachen gesucht, welche zum Ereignis geführt haben könnten. Im Unterschied dazu zieht die Ereignisablaufanalyse zunächst eine vorbestimmte Ursache heran, in welcher unerwünschte Ereignisse vorkommen können. Im Grundsatz ist also die Ereignisablaufanalyse hinsichtlich der Vorgehensweise ein direkt umgekehrtes Verfahren zur Fehlerbaumanalyse.

Die statistische Versuchsmethodik (**DoE**: engl. Design of Experiments) unterstützt die Auslegung und reproduzierbare Optimierung von Produkten und Prozessen [PFE 2001]. Die Auswertung der Versuche erfolgt unter Einsatz umfangreicher Statistikpakete. Oftmals wird hierzu die Unterstützung von leistungsfähigen Computern benötigt. Das Leistungsspektrum reicht von der Bestimmung wichtiger Einflussgrößen bis hin zur Ermittlung detaillierter mathematischer Modelle, zum Beispiel Kennlinienfelder [PFE 1998].

Im Gegensatz zur statistischen Versuchsmethodik DoE überwacht die statistische Prozesskontrolle (**SPC**: engl. Statistical Process Control) Abläufe innerhalb der Serienfertigung. Dies erfolgt im Wesentlichen mit Hilfe von Qualitätsregelkarten, welche die zeitliche Veränderung eines Merkmals erfassen und graphisch darstellen. Sie werden eingesetzt, um das Verhalten eines Prozesses zu überwachen, auf die Zielwerte zu regeln und im Laufe der Zeit zu verbessern. Auch kann mittels Regelkarten aus einer Stichprobe auf das Verhalten des gesamten Prozesses geschlossen werden.

Die vorbeugende QM-Technik **QFD** (engl. Quality Function Deployment) verfolgt die Zielsetzung, zuvor analysierte Kundenbedürfnisse in technische Merkmale zu übersetzen. Mittels QFD werden die Forderungen, die die Kunden an ein Produkt stellen, schrittweise in technische Merkmale, Baugruppen, Einzelteile und Prozesse übersetzt [PFE 1998]. Dies erfolgt in vier aufeinander folgenden Schritten.

Six Sigma beinhaltet eine systematische, methodenunterstützte Vorgehensweise mit dem Ziel Prozesse zum einen systematisch zu zentrieren (Verringerung der Fehler innerhalb der Gauss-Verteilung), zum anderen die Streuung dieser so weit wie möglich zu verringern

[LIN 2002]. Die Methode kann als Synonym für den Total-Quality-Management-Ansatz eines Unternehmens verstanden werden. Ziel des Total-Quality-Ansatzes, der ursprünglich als „Total Customer Satisfaction“ bezeichnet wurde, ist der Beginn eines Null-Fehler-Programmes [KAM 2003]. Daher kann Six Sigma als eine systematische und strukturierte Methode zur Verbesserung von Produkten, Prozessen und Abläufen in allen Bereichen des Unternehmens angesehen werden.

Poka Yoke bezeichnet ein aus mehreren Elementen bestehendes Prinzip, welches technische Vorkehrungen bzw. Einrichtungen zur sofortigen Fehlerrückmeldung und -vermeidung umfasst. In der Literatur findet sich unter dem Begriff „Poka Yoke“⁶ eine Sammlung von Denkansätzen vornehmlich japanisch geprägter Autoren, die an Beispielen die Gestaltung fehlerunempfindlicher Abläufe beschreiben [N.N. 2005].

Die Grundidee beruht darauf, Fertigungsprozesse so zu gestalten, dass Fehlhandlungen im Sinne von Unachtsamkeit sicher erkannt und dadurch verhindert werden, bevor daraus Fehler am Produkt entstehen [SNE 1993]. Durch Anwendung eines so genannten „Schlüssel-Schloss-Prinzips“ kann in einem Herstellungsprozess eine Null-Fehler-Qualität erreicht werden [WEK 1995].

Die vorbeugende QM-Technik **Design Review** dient zur Überprüfung von Konzepten und Konstruktionen nach Abschluss eines Arbeitsabschnittes [WEK 1995]. Mit Hilfe der im Entwicklungsprozess festgelegten Meilensteine können die kritischen Stellen eines Entwicklungsprojektes dokumentiert und umfassend beurteilt werden [DIN 9004-1 1994]. Nur was im Voraus definiert und festgelegt wird, kann anschließend in einem Vergleich betrachtet werden (Soll-Ist-Vergleich). In den jeweiligen Konstruktionsphasen der Entwicklung sollte eine Zielerreichung beurteilt werden, um auftretende Abweichungen aufzeigen und anpassen zu können.

Die folgende Tabelle dient der zusammenfassenden Übersicht über die beschriebenen vorbeugenden QM-Techniken.

⁶ [N.N. 2005]: Poka-Yoke: Hergeleitet von „bakayoke“ ≈ „narrensicher“ abgeschwächt zu „poka-yoke“ ≈ „fehlerunempfindlich“ („poka“ ≈ „versehentlicher Fehler“, „yoke“ ≈ „sicher machen vor etwas“)

| Methoden | | | Zielsetzung |
|------------------|----------------------------------|---|---|
| FMEA | Failure Mode and Effect Analysis | Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse | <ul style="list-style-type: none"> • frühzeitige Fehlererkennung und Implementierung von Gegenmaßnahmen • systematische Verbesserung der Produkt- und Prozessqualität (Risikoreduzierung) • von der Konstruktions- bis zur Produktionsphase einsetzbar |
| FTA | Fault Tree Analysis | Fehlerbaumanalyse | <ul style="list-style-type: none"> • Identifizierung aller Ausfallursachen • Entwicklung und Einsatz gezielter Abstellmaßnahmen |
| ETA | Event Tree Analysis | Ereignisbaumanalyse | <ul style="list-style-type: none"> • Analyse eines möglichen Folgeereignisses aus einem Anfangsereignis |
| DoE | Design of Experiments | Statistische Versuchsmethodik | <ul style="list-style-type: none"> • Systematische Planung von Versuchen zur Bestimmung von Einflussfaktoren |
| SPC | Statistical Process Control | Statistische Prozesskontrolle | <ul style="list-style-type: none"> • Überwachung, Regelung, Verbesserung von Prozessen auf Sollwert- und Toleranzeinhaltung • Eliminieren systematischer Fehler • Darstellen des zeitlichen Verlaufs eines Merkmals (für Serienproduktion geeignet) |
| QFD | Quality Function Deployment | Qualitäts- und Funktions-Entfaltung | <ul style="list-style-type: none"> • Analyse der Kundenbedürfnisse und Umsetzung dieser zur Produkt- und Prozessgestaltung [BRU 2003] • für Produkte und Dienstleistungen • von der Konzept- bis zur Produktionsphase einsetzbar |
| Six Sigma | -- | -- | <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Produkten und Prozessen, die ein Minimum an Abweichungen vom Zielwert ermöglichen • Werkzeug zur Ermittlung der Qualitätsfähigkeit von Prozessen [KAM 2003] |
| Poka-Yoke | -- | -- | <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von technischen Vorkehrungen mit dem Ziel der sofortigen Fehlerrückmeldung [WEK 1995] • Fehlervermeidung in der Produktion |
| DR | Design Review | Entwurfprüfung | <ul style="list-style-type: none"> • Systematische Entwicklungs- und Konstruktionsüberprüfung zum Ende jeder Entwicklungsphase [MAS 2007] |

Tab. 2: Einsetzbarkeiten und Zielsetzungen vorbeugender QM-Techniken

2.2 Nutzen und Anwendbarkeit vorbeugender QM-Techniken

Untersuchungsergebnisse des VDA Bandes 14 „Präventive Qualitätsmanagement-Methoden in der Prozesslandschaft“ zeigen, dass erhebliche Unterschiede zwischen Einsatz und Nutzen vorbeugender Qualitätstechniken bestehen. Die Ergebnisse beruhen auf einer Umfrage aus dem Jahre 2004, in welcher 17 Entwicklungs- und 7 Fertigungsbereiche sowohl von Automobilherstellern, als auch von Automobilzulieferern stammen. So wird beispielsweise der Nutzen der QM-Technik QFD als mittel bis hoch ausgewiesen, jedoch ihr Einsatz mit eher selten oder gar nie beschrieben [VDA (5) 2007].

Eine weitere bundesweit angelegte Grundlagenstudie zur Qualität in produzierenden Unternehmen, die ebenfalls dem VDA Band 14 entnommen werden kann, beschreibt die Anwendungshäufigkeit der Methoden zur Fehlervermeidung. Um eine bessere Vergleichbarkeit hinsichtlich Anwendung gegenüber ihrem Nutzen heranziehen zu können, wird sich zunächst auf die vorbeugenden QM-Techniken FMEA, FTA, DoE, SPC, QFD und Poka Yoke konzentriert.

Insgesamt wurden 440 Unternehmen der Branchen Fahrzeugbau, Feinmechanik (inkl. Optik- und Maschinenteknik), Maschinen-, Anlagen- und Apparatebau sowie Elektrotechnik befragt [IPT 2002]. Die Auswertung der Studie ergab, dass zwar die Hälfte der Unternehmen die ausgewählten Methoden kennen, jedoch viel zu selten zum Einsatz kommen [IPT 2002]. Dies wird durch eine weitere Umfrage bestätigt [PFE 1999], welche sich mit dem Einsatz, Nutzen und den Problemen bei der Anwendung der Methoden beschäftigt. Im Rahmen der Umfrage wurde an etwa 1000 Mitgliedsunternehmen der Deutschen Gesellschaft für Qualität e.V. (DGQ) ein Fragebogen gesandt. Die Beantwortung der Fragebögen wurde von 126 Unternehmen durchgeführt. Dazu ergaben sich folgende prozentuale Werte [PFE 1999]:

- 28% der Unternehmen empfinden die vorbeugenden QM-Techniken als zu komplex,
- 29% sehen aufgrund der hohen Komplexität ein zu hoher Schulungsaufwand,
- 24% empfinden die notwendige Informationsbeschaffung als zu schwierig und
- 19% sehen Probleme bei der Umsetzung der beschlossenen Maßnahmen.

Darüber hinaus gaben die befragten Unternehmen an, dass die Nutzenpotentiale besonders im Bereich der Reduzierung von Entwicklungszeiten, der Senkung von Entwicklungs- und Fehlerkosten sowie bei der Erhöhung der Kundenzufriedenheit liegen [IPT 2002].

Untersuchungen des VDA zeigen, dass neben der Elektroindustrie vor allem die Automobilindustrie der Industriezweig mit der höchsten Anwendungshäufigkeit von

vorbeugenden QM-Techniken sind [VDA (5) 2007]. Diesen Zusammenhang gibt die folgende Grafik wieder (Abb. 5).

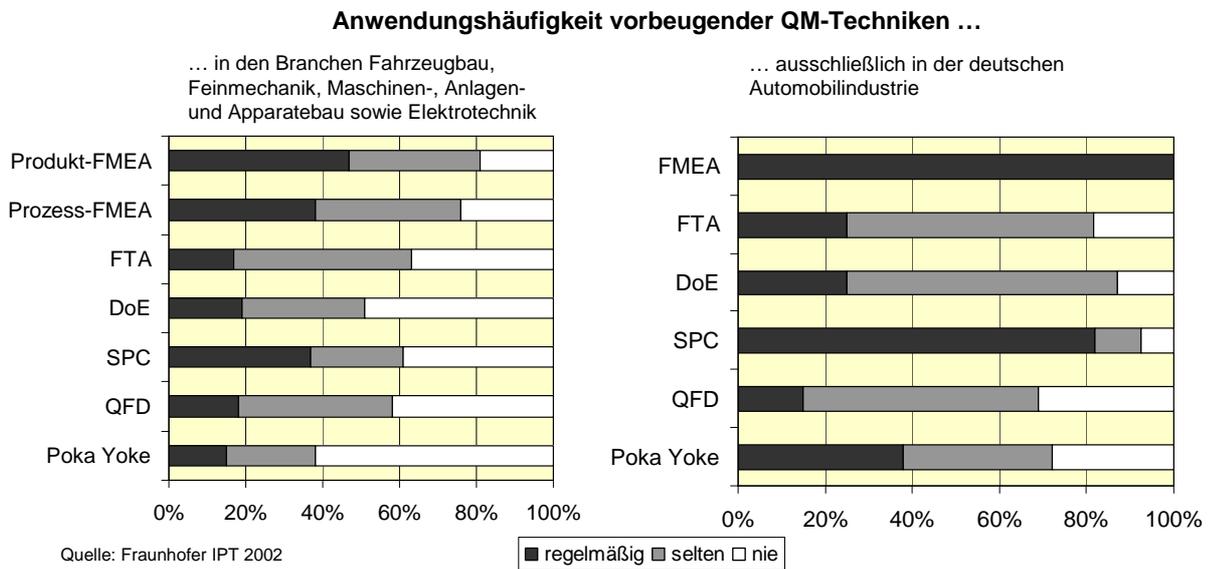


Abb. 5: Anwendungshäufigkeit ausgewählter vorbeugender QM-Techniken [in Anlehnung an VDA (5) 2007]

Aus den Untersuchungsergebnissen geht hervor, dass vor allem die Automobilindustrie eine Branche mit einer überdurchschnittlich hohen Anwendungshäufigkeit vorbeugender QM-Techniken ist. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt das Beratungsunternehmen Bain & Company, in welchem 30 unterschiedliche Branchen befragt wurden [RIG 2001]. Die Verwendung der Methoden zur Fehlervermeidung wurde von 73% der befragten Unternehmen als Voraussetzung für einen nachhaltigen Erfolg genannt [RIG 2001]. Diese Erkenntnis gibt die Abbildung 6 wieder. Es ist festzustellen, dass die Anwendungshäufigkeit in keinem Verhältnis zu seinem prognostizierten Nutzen steht. Vielmehr wird der Nutzen der ausgewählten Methoden als sehr hoch angesehen.

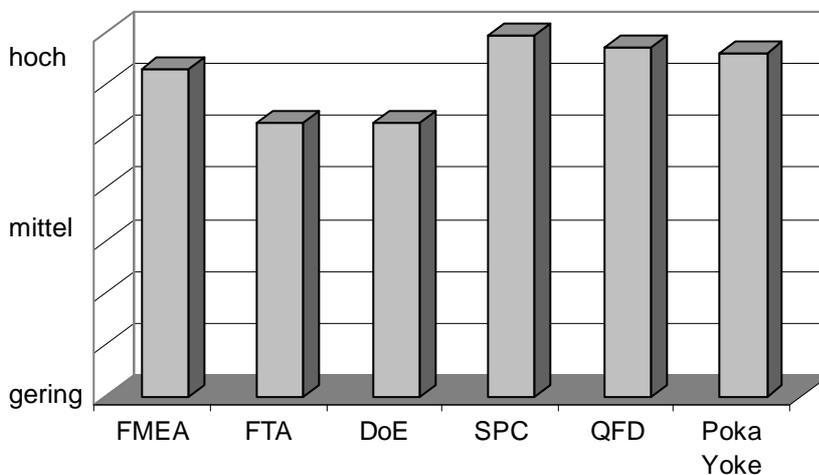


Abb. 6: Nutzen ausgewählter vorbeugender QM-Techniken [in Anlehnung an VDA (5) 2007]

2.3 Bewertung der wichtigsten vorbeugenden QM-Techniken

Die Analysen der einzelnen vorbeugenden QM-Techniken verdeutlichen, dass diese auf unterschiedlichen Sichtweisen des Qualitätsbegriffes beruhen. Ein früher und konsequenter Einsatz während der Produktentstehung kann zu einer deutlichen Reduzierung technischer Änderungen und damit verbundenen Entwicklungskosten und -zeiten führen. Darüber hinaus unterstützen die teamorientierten Methoden zur Fehlervermeidung die Kommunikation.

Die Untersuchungsergebnisse belegen, dass die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) eine sowohl überdurchschnittlich gute Anwendungshäufigkeit als auch großen Nutzen aufweist. Daraus resultieren der hohe Bekanntheitsgrad und damit die weite Verbreitung der QM-Technik.

Die QFD ist zu denjenigen vorbeugenden QM-Techniken zu zählen, welche zwar eine sehr geringe Anwendungshäufigkeit aufweist, jedoch der Nutzen von den befragten Unternehmen als sehr hoch angesehen wird. In diesem Zusammenhang sprechen die Unternehmen von einer Methode, welche Planungsprozesse systematisch, zielgerichtet und durchgängig unterstützt [RED 2002].

Design Review Based on Failure Mode (DRBFM) beruht auf den Abläufen und Ideen der Methode Design Review (DR). Dazu kommen jüngste Errungenschaften und Vorgehensweisen der japanischen Industrie, die auf die Erreichung eines robusten Designs abzielen [SCH 2007]. Aus Gründen der intensiven Auseinandersetzung derzeitiger Qualitätsmedien erscheint es dem Autor wesentlich, sich mit den zentralen Inhalten und Vorgehensweisen der DRBFM auseinanderzusetzen.

Zunächst werden innerhalb der Arbeit sowohl bekannte und etablierte, als auch neueste Entwicklungen von vorbeugenden QM-Techniken in ihrer Anwendung zur Erzielung von Null-Fehlern in der Konstruktion beschrieben. Dazu ist es notwendig, die FMEA, QFD und DRBFM hinsichtlich ihrer Vorteile und Schwächen zu untersuchen.

2.3.1 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

2.3.1.1 Beschreibung der FMEA

Eine Methode zur qualitativen Absicherung des Produktentstehungsprozesses ist die Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse, kurz FMEA (Failure Mode and Effect

Analysis). Ziel der FMEA ist es, mögliche Fehler frühzeitig zu identifizieren um entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten. Dadurch soll die Anzahl von Konstruktionsänderungen und Fehlern bereits in der frühen Phase der Produktentwicklung auf ein Minimum reduziert und kostenintensive Änderungen in späteren Phasen der Produkterstellung vermieden werden [VDI 2247 1994].

Die FMEA wird vorrangig bei Neuentwicklungen, bei sicherheitsrelevanten Bauteilen oder bei Produkt- und Prozessänderungen eingesetzt [THE 1997]. Die FMEA weist nach Dietzsch, Althaus und Brandner ein „erhebliches Potential in der Fehleranalyse bei kompletten Neuentwicklungen von Produkten und Prozessen auf“ [DIE (1) 1999].

Weiter verfolgt die FMEA eine vorbeugende Fehlervermeidung und strebt eine Ursache-Folge-Beziehung an. Jedoch konzentriert sich die FMEA nicht auf mögliche Fehlerkombinationen. Diese werden mit Hilfe der Fehlerbaumanalyse FTA (Kapitel 2.2) untersucht.

Fehler von Beginn an zu vermeiden, anstatt sie im Nachhinein zu verbessern, beruht auf der Überlegung, dass die Fehlervermeidung geringere Kosten verursacht, als die nachträgliche Fehlerbeseitigung [MER 1999]. Diese Überlegung kann mit Hilfe der Zehnerregel verdeutlicht werden. Sie geht davon aus, dass die Beseitigung eines Fehlers mit jeder Phase, in der er später in Bezug auf seinen Entstehungspunkt aufgedeckt und beseitigt wird, höhere Kosten mit dem Faktor zehn verursacht [PFE 2001]. Daher setzt die FMEA bereits in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses eines Produktes oder Prozesses ein und muss bereits vor Beginn der Serienfertigung abgeschlossen sein [KAM 2003].

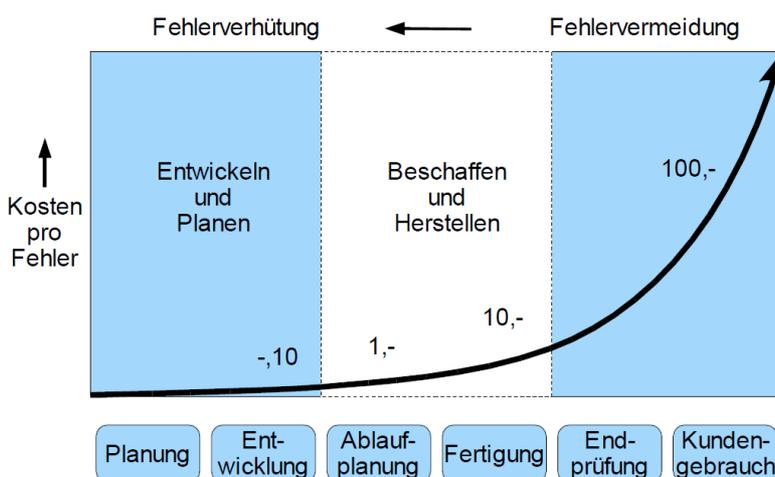


Abb. 7: Schematische Darstellung der Zehnerregel der Fehlerkosten [PFE 2001]

Die FMEA dient vorrangig zur Bewertung und Verbesserung der Ergebnisqualität von Produktionsprozessen. Dabei konzentriert sie sich vor allem auf die frühzeitige Fehlererkennung.

Weiterhin ist die FMEA ein wirksames Hilfsmittel zur Vermeidung von Fehlern. Die systematische Suche nach Fehlern und Ermittlung von Ursachen und Folgen wird mit Hilfe einer Risikoanalyse durchgeführt. Es werden Fehler methodisch analysiert und hinsichtlich ihrer Bedeutung, der Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der Wahrscheinlichkeit entdeckt zu werden, bewertet. Die Priorisierung der einzelnen Fehler erfolgt durch Multiplikation von Fehlerbedeutung (B_{Fehler}), bezogen auf die Wichtigkeit für den Kunden, der Fehlerauftretenswahrscheinlichkeit (A_{Fehler}) und der Entdeckungswahrscheinlichkeit (E_{Fehler}) [VDA (4) 2006]. Damit ist die FMEA eine Methode zur Risikobewertung von Fehlerursachen. Diese erfolgt durch Multiplikation der potentiellen Ursachen eines Fehlers (Abb. 8).

Das Produkt der einzelnen Faktoren ergibt die so genannte Risikoprioritätszahl RPZ. Sie ist ein Maß für das Gefährdungspotential einer Konstruktion, eines Systems oder eines Fertigungsprozesses. Grundsätzlich wird zwischen Konstruktions-/ Entwicklungs-, System- und Prozess-FMEA unterschieden (siehe Tabelle 3). Üblicherweise wird die Punktbewertung zur Risikobeurteilung auf einer Skala von 1 (kein Risiko) bis 10 (hohes Risiko) vorgenommen. Die Risikoprioritätszahl kann somit einen Wert zwischen 1 und 1000 annehmen. Dadurch kann eine Rangfolge der Priorisierung erstellt werden.

$$\begin{aligned} \text{Risikoprioritätszahl } RPZ &= \text{Bedeutung des Fehlers } B_{\text{Fehler}} \\ &\quad \times \text{ Auftretenswahrscheinlichkeit } A_{\text{Fehler}} \\ &\quad \times \text{ Entdeckungswahrscheinlichkeit } E_{\text{Fehler}} \end{aligned}$$

Abb. 8: Bestimmung der Risikoprioritätszahl [VDA (4) 2006]

Mit Hilfe der RPZ können die einzelnen möglichen Fehler nach ihrer Bedeutung sortiert werden. Bei hoher RPZ werden Maßnahmen festgelegt, die entweder die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Fehlers reduzieren oder die Wahrscheinlichkeit der Entdeckung des Fehlers erhöhen, wodurch die RPZ reduziert wird [DGQ Band 13-11 2001]. Die Beseitigung des Fehlers führt in jedem Fall zu einer Verringerung der RPZ.

Das Ergebnis einer durchgeführten FMEA ist die Basis zur konstruktiven Überarbeitung zum Einsatz von Gegenmaßnahmen bzw. zur Prozessverbesserung.

| | |
|---|---|
| System FMEA (Produkt, z. B. Fahrzeug) | <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung von Schnittstellen zwischen einzelnen Komponenten mit dem Fokus der Funktion des Gesamtsystems • Fehleranalyse bzgl. des Zusammenspieles einzelner Bauteile |
| Konstruktions-/ Entwicklungs-FMEA (signifikantes Bauteil) | <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung der Konstruktion einzelner Bauteile vor dem Hintergrund der Funktionserfüllung |
| Prozess-FMEA (Schritte im Fertigungsprozess) | <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung der Fertigungs- und Montageprozessfähigkeit von Komponenten |

Tab. 3: Unterscheidung von FMEA-Arten [GÖB 2003]

Die Durchführung einer FMEA ist auf unterschiedliche Arten möglich. Zum einen können FMEA's innerhalb eines betrachteten Systems, z. B. in einer System-FMEA, aufeinander aufbauen. Zum anderen sind derartige Überschneidungen auch zwischen unterschiedlichen FMEA-Arten möglich. So kann es zu Überlappungen zwischen System-, Konstruktions- und Prozess-FMEA kommen (Abb. 9). Diese bauen aufeinander auf und überschneiden sich jeweils in den Feldern Fehlerart und Fehlerursache. So kann die Fehlerart der einen FMEA zur Fehlerfolge der anderen und die Fehlerursache der einen FMEA zur Fehlerart der anderen werden [DGQ Band 13-11 2001]. Ziel aller Überlappungen ist die Beschreibung von Schnittstellen auf unterschiedlichen Ebenen.

| | Systemfunktionen | Funktionen des Teils | Merkmale |
|--------------------|--|--|---|
| System-FMEA | Fehlerfolge | Fehlerart | Fehlerursache |
| | keine Verkehrssicherheit gewährleisten | kein Warnsignal | Bauteil bricht |
| Konstruktions-FMEA | Fehlerfolge | Fehlerart | Fehlerursache |
| | kein Warnsignal | Bauteil bricht | Materialfestigkeit unzureichend oder falsch ausgelegt |
| Prozess-FMEA | Fehlerfolge | Fehlerart | Fehlerursache |
| | Bauteil bricht | Materialfestigkeit unzureichend oder außerhalb der Spezifikation | Temperaturlagen für Härteprozess |

Abb. 9: Überlappung der FMEA-Arten [DGQ 2001 Band 13-11]

Die Vorgehensweisen der einzelnen FMEA-Arten sind grundsätzlich gleich. Unterschiede ergeben sich in der Planungsphase, in welcher die FMEA erstellt wird [PFE 2001].

Die System-FMEA lässt sich als eine Weiterentwicklung der Konstruktions- und Prozess-FMEA bezeichnen und kann in die System-FMEA „Produkt“ und System-FMEA „Prozess“ untergliedert werden. Es ist eine entwicklungs- und planungsbegleitende Risikoanalyse, welche die grundsätzlichen Vorgehensweisen der beiden bereits genannten FMEA-Arten beinhaltet. Jedoch muss an kritischen Konzeptstellen mittels Erfahrung, Berechnung, Erprobung und Prüfung das bestehende Risiko reduziert werden. Daher wird im weiteren Verlauf der Arbeit die System-FMEA näher untersucht, wobei stets Parallelen zur Konstruktions- und Prozess-FMEA zu sehen sind.

Ausgangspunkt für die Durchführung einer FMEA ist die Systemanalyse, bei der das betrachtete System in seine Komponenten zerlegt wird [DIN 25448:1990]. Es wird ein Idealzustand festgelegt, in dem alle Komponenten als intakt vorausgesetzt werden [PFE 2000]. Hierbei werden die Komponenten, also Bauteile, als Elemente eines Systems betrachtet. Beispiel hierfür ist die Kugel eines Kugellagers. Als mögliche Fehler (F) werden die physikalischen Bauteilausfälle (z. B. plastische Verformung der Kugel) im Kundeneinsatz untersucht [WEK 1995].

Im Anschluss daran erfolgt eine Fehleranalyse, welche gefundene Fehler und damit die Fehlerursache (FU) aufzeigt. Diese werden für jeden möglichen Fehler eines Bauteils in dessen Auslegungsdaten untersucht, z. B. Dimension und Werkstoff des Bauteils. Das dadurch entstandene Risiko, d. h. die Fehlerfolge (FF), wird beurteilt und entsprechende Lösungen und Maßnahmen zur Senkung des Risikos ausgearbeitet. So kann eine mögliche Fehlerfolge die plastische Verformung der Kugel im Kugellager sein. Eine Fehlfunktion des Kugellagers kann wiederum zu einer fehlerhaft gelagerten Getriebewelle und letztlich zu Funktionsstörungen, z. B. des Fahrzeuges, führen [in Anlehnung an WEK 1995].

Zum Schluss werden die Ergebnisse der durchgeführten Maßnahmen beurteilt und ein Handlungsbedarf festgestellt. Ziel dieser Vorgehensweise soll die Erstellung eines iterativen Prozesses sein und damit einen fortlaufenden Optimierungsprozess gewährleisten.

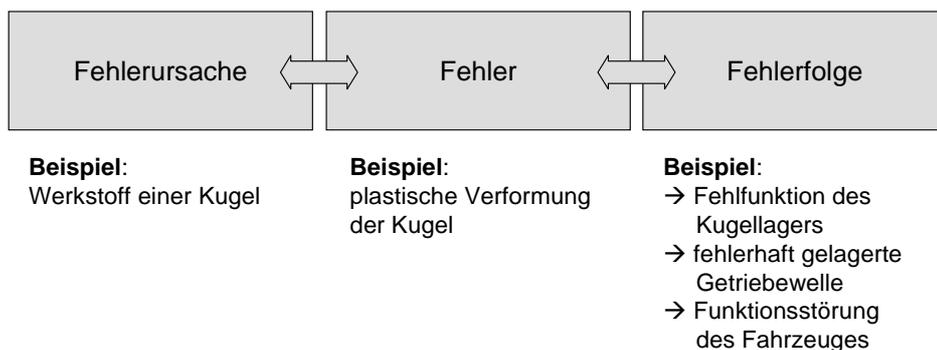


Abb. 10: Fehleranalyse innerhalb einer FMEA [WEK 1995]

Im Laufe der Jahre wurde die System-FMEA als Methode zur Fehlervermeidung ständig weiterentwickelt. Zu diesen Weiterentwicklungen zählen der zunehmende Fokus auf funktionale Zusammenhänge zwischen Bauteilen, die Unterteilung möglicher Fehler in einzelne Prozessschritte, die Analyse des gesamten Herstellungsprozesses und ein geändertes Formblatt.

| Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse | | | | | | | | | |
|---|---|------------------|-------------------------|----------------------|---|----------------------|---|--------|-----|
| <input type="checkbox"/> System-FMEA Produkt <input type="checkbox"/> System-FMEA Prozess | | | | | | | | | |
| FMEA-Nr.: | | Seite von | | | | | | | |
| Typ/Modell/Fertigung/Charge: | | | | Sach-Nr.: | | Verantw.: | | Abt.: | |
| | | | | Änderungsstand: | | Firma: | | Datum: | |
| System-Nr./Systemelement: | | | | Sach-Nr.: | | Verantw.: | | Abt.: | |
| Funktion/Aufgabe: | | | | Änderungsstand: | | Firma: | | Datum: | |
| Mögliche Fehlerfolgen | B | Möglicher Fehler | Mögliche Fehlerursachen | Vermeidungsmaßnahmen | A | Entdeckungsmaßnahmen | E | RPZ | V/T |
| | | | | | | | | | |

Abb. 11: Weiterentwicklung der FMEA-Technik [VDA (1) 2003]

- B: Bedeutung des Fehlers
- A: Auftretenswahrscheinlichkeit des Fehlers
- E: Entdeckungswahrscheinlichkeit des Fehlers

Darüber hinaus beinhaltet die Weiterentwicklung der System-FMEA die Berücksichtigung des Herstellungsprozesses durch die Systemelemente Mensch, Maschine, Material und Mitwelt („4M’s“) [VDA (1) 2003]. Mit Hilfe der folgenden Abbildung sollen die einzelnen aufeinander bauenden Schritte zur Durchführung einer FMEA erläutert werden.

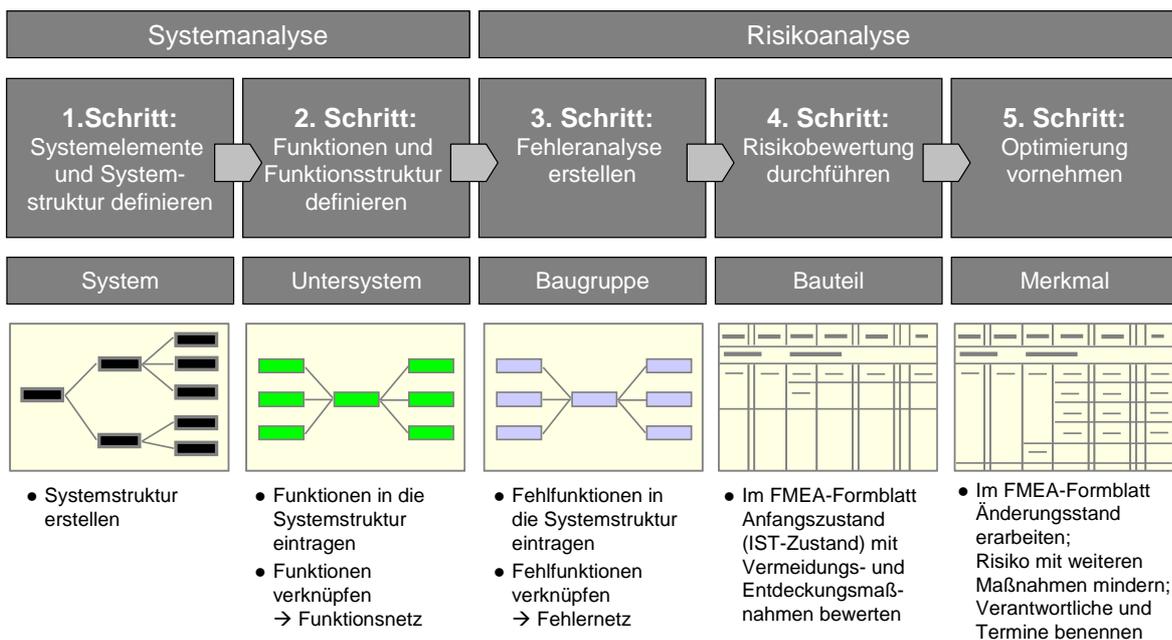


Abb. 12: Ablaufschema einer System-FMEA [VDA (1) 2003]

Im ersten Schritt erfolgt eine Beschreibung der Systemelemente und Systemstrukturen. Hierzu werden die strukturellen Zusammenhänge im Gesamtsystem in einer Systemstruktur hierarchisch angeordnet. Dazu werden Schnittstellen im System an gewählten Systemgrenzen beschrieben [VDA (1) 2003].

Die funktionalen Zusammenhänge in einer Systemstruktur zwischen Bauteilen werden mit Hilfe von Komponentenebenen (KE) dargestellt. Endet die Beschreibung der Merkmale der Komponenten auf der untersten Ebene des betrachteten Produktes, so wird diese als Merkmalsebene (ME) bezeichnet. Die Schnittstellen zwischen den einzelnen Systemelementen zueinander werden grundsätzlich in eigenständigen Teilstrukturen dargestellt, wobei jedes einzelne Systemelement nur einmal existiert [VDA (1) 2003].

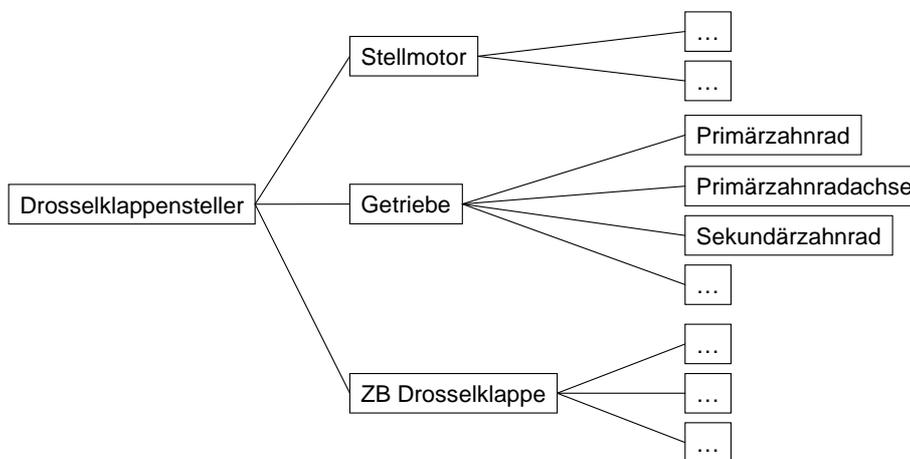


Abb. 13: Erstellung der Systemstruktur bis zur Komponentenebene (1. Schritt)
[in Anlehnung an VDA (4) 2006]

Alle funktionalen Zusammenhänge zwischen den Systemelementen werden in einem zweiten Schritt in einer Funktionsstruktur definiert. Hierzu sind umfassende Kenntnisse über das System und dessen Umgebungsbedingungen erforderlich [VDA (4) 2006].

Die Funktionsbeschreibung der einzelnen Systemelemente wird innerhalb des VDA als eindeutig, verifizierbar und validierbar gefordert [VDA (4) 2006]. Das Zusammenwirken der Funktionen mehrerer Systemelemente wird durch einen Funktionsbaum oder Funktionsnetz dargestellt. Dabei nimmt der Detaillierungsgrad der Funktionsstruktur von links nach rechts zu. Die Beschreibung von Funktionen, welche sich aus mehreren Teilfunktionen zusammensetzen, wird mit Hilfe von logischen Verknüpfungen innerhalb der Funktionsstruktur erreicht [VDA (4) 2006].

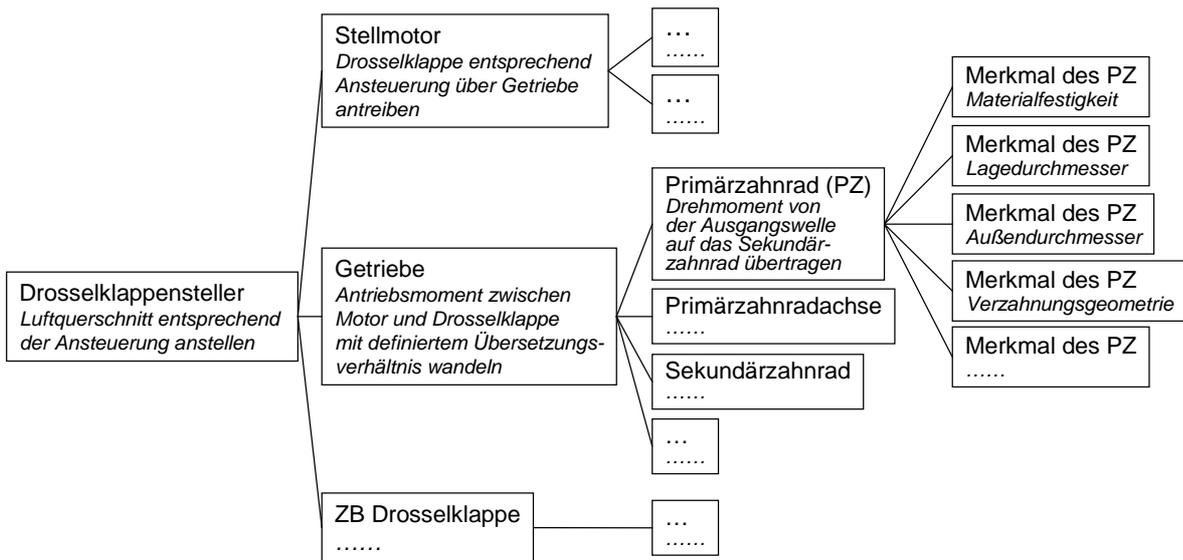


Abb. 14: Erstellung der Funktionsstruktur bis zur Merkmalsebene (2. Schritt)
[in Anlehnung an VDA (4) 2006]

Im dritten Schritt wird für jedes betrachtete Systemelement eine Fehleranalyse durchgeführt. Dazu werden mögliche Fehlfunktionen von den zuvor beschriebenen Funktionen bzw. Aufgaben abgeleitet. Das kann beispielsweise eine nicht vollständig durchgeführte oder nicht erforderliche Tätigkeit sein. Auf den bekannten Funktionen und Funktionsstrukturen werden die Fehlfunktionen und Fehlfunktionsstrukturen mit Hilfe von Fehlerbäumen abgeleitet und durch eine Ursache-Wirkungsbeziehung dargestellt [VDA (1) 2003].

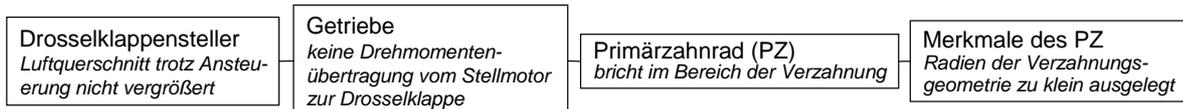


Abb. 15: Beispiel zu Fehlfunktionen in der Systemstruktur (3. Schritt)
[in Anlehnung an VDA (4) 2006]

Im vierten Schritt erfolgt eine Risikobewertung in Form einer Maßnahmenanalyse. Hierzu findet eine Bewertung oder Einschätzung des Risikos zum Untersuchungszeitpunkt statt. Es werden abgeschlossene Maßnahmen bewertet und deren Wirksamkeit dokumentiert. Grundsätzlich wird zwischen zwei verschiedenen Maßnahmentypen unterschieden: den Vermeidungsmaßnahmen und den Entdeckungsmaßnahmen.

Während Vermeidungsmaßnahmen zur optimalen System- bzw. Merkmalsauslegung (Auftrittswahrscheinlichkeit der Fehlermöglichkeit sehr gering, z. B. Vorrichtung) dienen, bestätigt die Entdeckungsmaßnahme (z. B. Sichtprüfung) deren Wirksamkeit. Es müssen beide Maßnahmen für Dritte nachvollziehbar beschrieben werden. Ist die Wirksamkeit der Maßnahmen aus Sicht des Bewertungsteams nicht ausreichend, so ist eine Optimierung und damit Schritt fünf erforderlich [VDA (4) 2006].

Im fünften Schritt werden Verbesserungsmaßnahmen aufgrund eines nicht zufrieden stellenden Bewertungsstandes eingeleitet. Diese Maßnahmen werden in Analogie zum Schritt vier bearbeitet. Hierzu wird ein neuer Maßnahmenstand erzeugt. Nach deren Umsetzung ist eine erneute Wirksamkeitskontrolle durchzuführen und die Bewertung zu überprüfen. Somit findet ein iterativer Prozess statt, bis ein qualitativ zufrieden stellendes Ergebnis erreicht worden ist [VDA (4) 2006].

2.3.1.2 Vorteile der FMEA

Die FMEA wird im Rahmen des Qualitätsmanagements zur Fehlervermeidung und Erhöhung der technischen Zuverlässigkeit vorbeugend eingesetzt. Daher kann die FMEA als Standardmethode zur Risikobewertung bezeichnet werden [KÖH 2006]. Dies hat entscheidenden Einfluss auf die Fehlerentstehungen im Entwicklungsprozess, was sich wiederum auf die Entwicklungszeiten und mögliche Garantiekosten auswirkt. Der erfolgreiche Einsatz einer FMEA kann zur Erhöhung der Kundenzufriedenheit führen.

Die FMEA dient neben der Risikoanalyse auch als Plausibilitätstest der Lastenhefte und zur Schnittstellenbeschreibung zwischen Hersteller und Lieferant. Ein gemeinsames Ziel muss es sein, Fehlerfolgen und deren Bewertung und Bedeutung für das Gesamtsystem beurteilen zu können. Hier bietet die FMEA eine systematische und strukturierte Vorgehensweise an, um jeweilige Wirkungszusammenhänge zwischen benachbarten Komponenten bzw. Systemen zu untersuchen [VDA (4) 2006]. Damit fördert die FMEA neben dem Kommunikationsfluss in der Team- und Projektarbeit den erforderlichen Wissenstransfer im Unternehmen [VDA (4) 2006]. Das strukturiert festgehaltene Wissen wird zusammengefasst und anderen Mitarbeitern zur Verfügung gestellt. Dadurch können Wissensverluste, die beim Ausscheiden eines Mitarbeiters entstehen, vermieden werden.

Weiter bietet die FMEA die Chance, innerhalb der Produktentstehung mittels strukturierter Denkweise mögliche Fehlfunktionen des Systems zu erkennen. Das Produktentstehungsteam wird dazu gezwungen, sich ein umfassendes Bild über das Fehlergeschehen und dessen Folgen bzw. Ursachen zu verschaffen.

2.3.1.3 Schwächen der FMEA

Die Autoren Theden und Colzman [THE 2002] sehen ein Hauptdefizit der FMEA in der mangelnden Genauigkeit der Anwendung: „Durch Zeitmangel oder fehlendes Wissen wird die FMEA oft nur oberflächlich durchgeführt und bringt dann keinen nennenswerten Nutzen“ [THE 2002]. Neben einer guten Ausbildung in der Anwendung der FMEA-

Methode ist es unerlässlich, geschultes Personal einzubinden. Dies erfordert jedoch Zeit und Geld.

Aus der Literatur können zahlreiche Beispiele zu Problemen in der Anwendung vorbeugender QM-Techniken entnommen werden. So sehen die Autoren Pfeiffer und Tillmann [PFE 2005] Schwierigkeiten in der ausschließlichen Konzentration auf Einzelprozesse, ohne dass übergeordnete Strukturen und Zusammenhänge in Frage gestellt werden. Dies begrenzt die Anwendbarkeit und die erzielbaren Resultate. Somit fehlt eine ganzheitliche Optimierung auf Basis eines umfassenden Qualitätsverständnisses.

Zwar wurde durch eine Weiterentwicklung der System-FMEA auf Schnittstellen im System und zwischen Systemgrenzen (Bauteile) eingegangen, jedoch ist eine genauere Detaillierung der Beziehungen zwischen den einzelnen Systemen nicht gegeben. Es wird weder eine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Beziehungen vorgenommen, noch auf das Entwicklungsumfeld, in welchem sich das Produkt gerade befindet, eingegangen. Das zu untersuchende System und sein Ausfallverhalten müssen in einer Ursache-Wirkungskette abgebildet werden können, um ein hohes Maß an Übereinstimmung zwischen der Analyse und der Realität erreichen zu können. Dies erfordert viel Zeit, Sorgfalt und vor allem Fachwissen.

Die System-FMEA strukturiert im ersten Schritt (siehe Kapitel 2.3.1.1) das zu untersuchende System in einzelne Systemelemente, zeigt deren funktionale Zusammenhänge auf, leitet denkbare Fehlfunktionen daraus ab und bildet logische Verknüpfungen zwischen zusammengehörigen Fehlfunktionen unterschiedlicher Systemelemente [VDA System-FMEA 2003]. Jedoch fehlen eine nähere Beschreibung und Unterteilung der Arten von verschiedenen Wechselwirkungen zwischen den anliegenden Bauteilen und Systemen. Die System-FMEA unterscheidet hierzu grundsätzlich nicht zwischen Neuentwicklung, Weiterentwicklung und der Übernahme von Bauteilen, Systemen oder Konzepten.

Weiter benötigt die Methode zur Fehlervermeidung möglichst konkrete Eingangsinformationen. Eine Eignung für die Fehlervermeidung in frühen Phasen der Produktentwicklung ist nur dann gegeben, wenn die Informationen abgesichert sind. Daher ist bei der FMEA eine objektive, der Realität entsprechende Bewertung der Fehler und ihrer Risiken notwendig. So müssen Konstrukteure und Prozesspartner ihre eigenen Entwicklungen stets kritisch hinterfragen. Dazu kommt, dass dem Verantwortlichen beim Entdecken von Fehlern aus vergangenen oder aktuellen Projekten keine negativen Folgen entstehen dürfen [THE 2002]. Diese Voraussetzungen gestalten den Umgang und die Umsetzung mit der FMEA als sehr schwierig.

Weiterhin verursacht die Erstellung der Risikoprioritätszahl einen technischen und organisatorischen Aufwand, der aufgrund der fehlenden technischen Aussagefähigkeit

wirtschaftlich nicht begründbar ist. Der eigentliche Fehler (B_{Fehler}) geht bei der Bildung der Risikoprioritätszahl nur zu einem Drittel ein, da die Faktoren Auftretenswahrscheinlichkeit A_{Fehler} und Entdeckungswahrscheinlichkeit E_{Fehler} zur genaueren Fehlerspezifizierung nicht beitragen. Auch die Wirksamkeit der Methode tritt erst mit einem hohen Zeitversatz ein. Es vergeht ein großer Zeitraum zwischen der Fehlerentdeckung und der eigentlichen Wirksamkeit, sprich Risikoreduzierung, der FMEA. Es erfolgt keine monetäre Bewertung des Fehlergeschehens oder gar eine Ermittlung von Fehlerkosten.

Die Bildung der Risikoprioritätszahl bedingt die Übersetzung von offenen Antworten in Faktoren, so dass die gesammelten und dokumentierten Informationen in eine enge Zahlenstruktur übersetzt werden. Damit verliert das offene Antwortformat die zentrale Zielsetzung der Erfassung des aktuellen Informationsstandes. Darüber hinaus basiert die Aussagefähigkeit der Risikoprioritätszahl auf sehr subjektiven Faktoren und hängt maßgeblich von den Meinungen der Teammitglieder ab. Hierzu kann als Beispiel der Faktor Auftretenswahrscheinlichkeit herangezogen werden. Auch werden durch die Bildung der Risikoprioritätszahl unterschiedliche Sachverhalte, wie die Bedeutung, Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Fehlers, miteinander in Verbindung gebracht. Lediglich die Bedeutung des Fehlers (B_{Fehler}) kann zur Lösung des Problems beitragen.

Nach den Autoren Arnold und Bauer [ARN 1992] ist die Erstellung einer Risikoprioritätszahl RPZ aufgrund fehlender mathematischer Grundlagen nicht möglich, da grundsätzlich von eindeutigen, reproduzierbaren Messwerten ausgegangen wird. Die jeweilige Messunsicherheit, die Streubreite oder zu starke Schwankungsbreite der Einzelwerte und deren Auswirkungen auf das Ergebnis werden hierbei nicht berücksichtigt [ARN 1992]. Kleine Abweichungen in den einzelnen Bewertungen, sprich Faktoren, verursachen starke Schwankungen in der Bildung der Risikoprioritätszahl [ARN 1992].

Um nachweislich einen Soll-Ist-Vergleich nach dem Einsatz von vorbeugenden QM-Techniken aufstellen zu können, ist es unerlässlich, eine Belastbarkeit und damit Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu erreichen. Nur dann kann das Werkzeug Teil eines systematischen Verbesserungsprozesses sein. Keinesfalls kann dies durch die Bildung von subjektiven Faktoren, wie die Entdeckungswahrscheinlichkeit E_{Fehler} und Auftretenswahrscheinlichkeit A_{Fehler} erfolgen.

Die FMEA lässt eine nähere Unterscheidung der Wechselwirkungen der Bauteile zueinander vermissen. Zudem wird keine Bewertung vorgenommen.

2.3.2 Quality Function Deployment (QFD)

2.3.2.1 Beschreibung der QFD

QFD-Struktur nach Akao

Die vorbeugende QM-Technik QFD wurde erstmals 1966 von Prof. Yoji Akao zur Anwendung gebracht. Die Namensgebung entstammt der japanischen Sprache. Danach kann QFD mit Hilfe von *Hin Shitsu* (Merkmale, Attribute, Features), *Ki No* (Funktion) und *Ten Kai* (Darstellung, Aufstellung, Entwicklung) als „Merkmals-Funktions-Darstellung“ übersetzt werden [AKA 1992].

Akao definierte die Qualitäts- und Funktions- Entfaltung (QFD: engl. Quality Function Deployment) folgendermaßen:

„QFD ist die Planung und Entwicklung der Qualitätsfunktionen eines Produktes entsprechend den von den Kunden geforderten Qualitätseigenschaften“ [AKA 1992].

Der erste Bericht über QFD erschien 1972 im Zusammenhang mit den von Nashimura und Takayanagi entwickelten Qualitätstabellen mit dem Titel „Entwicklung und Qualitätssicherung neuer Produkte: Ein System der Qualitätsentwicklung“ [AKA 1992]. Die von der Mitsubishi Heavy Industries Kobe Schiffswerft veröffentlichten Qualitätstabellen wurden im Jahre 1978 in dem Buch Quality Function Deployment: „An Approach to Total Quality Control“ nachfolgend systematisiert [AKA 1992].

Die QFD Methode, welche einer Kommunikations- und Planungsmethode gleichzusetzen ist, stellt ein Verfahren zur Entwicklung einer Entwurfsqualität dar, die sich an den Bedürfnissen der Kunden orientiert [AKA 1992]. Dazu verwendet Akao so genannte Korrelationsmatrizen, welche in vier horizontale Ebenen unterteilt sind und von oben nach unten eine zunehmende Detaillierung aufweisen. Die Ebenen bestehen aus Kundenanforderungen, Funktionen, Qualitätsmerkmalen und Einzelteilen. In vertikaler Richtung unterteilt Akao die vorbeugende QM-Technik in die Bereiche Qualitätsentwicklung, Technologieentwicklung, Kostenentwicklung und Zuverlässigkeitsentwicklung (siehe Abb. 16).

Mit Hilfe der einzelnen Korrelationsmatrizen (in Abb. 16 als Quadrat dargestellt) gelingt Akao ein durchgängiges Vermitteln, Umwandeln, Verknüpfen und Gewichten von Produktanforderungen, welche sich im Produktentwicklungsprozess ergeben. Diese werden gegen Ende von Kapitel 2.3.2.1 in ausführlicher Weise beschrieben (Abb. 20). Akao prägte bezüglich dieser Methodik den Satz:

„Copy the spirit, not the form.“ [AKA 1992]

Ziel soll es somit sein, eine flexible und bedarfsgerechte Gestaltung der einzelnen Matrizen zu erreichen und das Ablaufschema nicht als zwingend anzusehen.

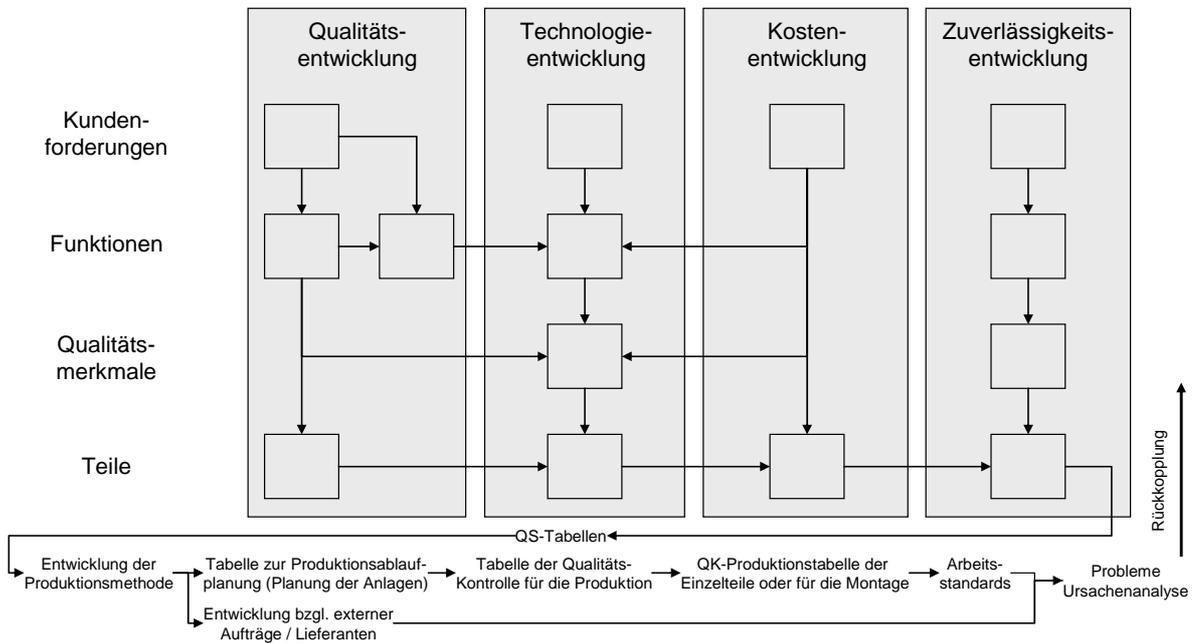


Abb. 16: Ablaufschema der QFD nach Yoji Akao [AKA 1992]

Akao strebt eine Verbesserung von bestehenden Produkten und Prozessen an [AKA 1992]. Laut Akao konnte durch die Anwendung von QFD die Produktentwicklung um bis zu 50 Prozent reduziert und der Zeitraum für die Entwicklung neuer Produkte um 30 Prozent verringert bzw. die Kundenzufriedenheit verbessert werden [AKA 1992].

Das Ablaufschema der QFD nach Y. Akao soll dem Konstrukteur als Vorschlag dienen und ist nicht zwingend einzuhalten. Akao gibt dem Konstrukteur eine richtungsweisende Methode zur Identifikation von Engpassteilen an die Hand, die stets flexibel den Unternehmensbedürfnissen angepasst werden müssen.

QFD-Struktur nach King

Eine wesentliche Weiterentwicklung der QFD Technik von Akao vollzog Bob King [KIN 1994], ein Schüler Akaos. Er begann 1983 die Technik in den USA zu studieren. 1988 veröffentlichte er das Buch „Better design in half the time“ [KIN 1989]. Die wesentlichen Änderungen beinhalten die Integration der Konzeptplanung von Stuart Pugh [PUG 1981] in die QFD-Technik und praktische Ergänzungen von Fukahara aus dem American Supplier Institute (ASI) in Dearborn und Michigan [KIN 1994].

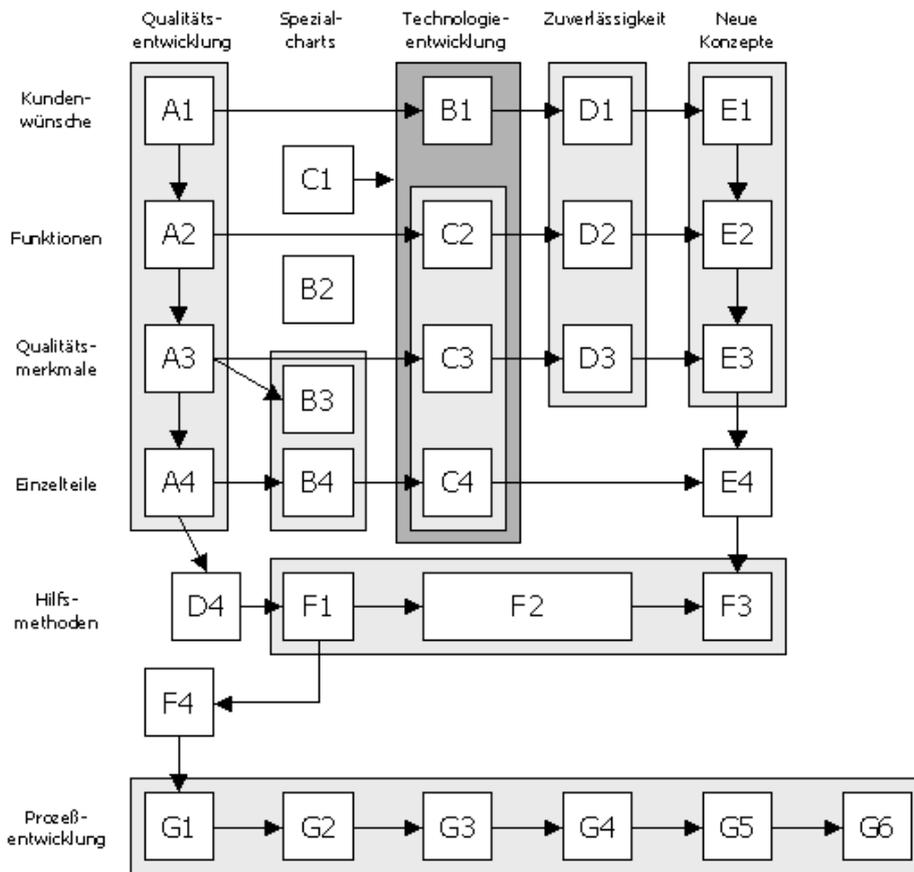


Abb. 17: Ablaufschema der QFD nach Bob King [KIN 1994]

Die Systematik der QFD-Technik nach Yoji Akao wurde von Bob King neu strukturiert, ohne jedoch Elemente wegfällen zu lassen. King erweiterte die Korrelationsmatrizen von Akao um die horizontale Ebene „Prozessentwicklung“ und die vertikalen Ebenen „Entwicklung neuer Konzepte“ und „Identifizierung von Erfolgsmethoden“ (Abb. 17). Letztere werden auch als Hilfsmethoden bezeichnet und beinhalten unter anderem die vorbeugenden QM-Techniken FMEA, FTA, DoE und die Faktorenanalyse [KIN 1994]. Die Faktorenanalyse stellt eine Art Verbindung zwischen der QFD-Technik und dem Design of Experiments dar [TAG 1986].

King entwickelte die oben beschriebenen Matrizen weiter. Er bezeichnet die einzelnen Matrizen als „Werkzeugkasten“, aus dem nur die notwendigen Elemente benutzt werden sollen [CHA 1989]. Daher ist es notwendig, dass das planende Team eine Auswahl aus den zu bearbeitenden Matrizen trifft. Mit Hilfe einer von ihm als sinnvoll erkannten Reihenfolge der Bearbeitung soll dem Anwender lediglich ein Vorschlag unterbreitet werden [KIN 1994].

QFD-Struktur nach ASI

Der gebräuchlichste Ansatz der QFD Technik entstammt einem japanischen „Reliability Engineer“ namens Makabe [SAA 1997], der ausschließlich vier Matrizen (Produktplanung, Teileentwicklung, Prozess- und Produktionsplanung) verwendet (Abb. 18). Ziel ist die

Anwendung von bereits existierenden Technologien. Makabe lehrte Fuji Xerox [SAA 1997] diesen Ansatz, der an die Mitarbeiter des American Supplier Institute (ASI) weitergegeben wurde [AKA 1992].

Die QFD-Struktur nach ASI ist ein kleiner Ausschnitt aus dem, was QFD zu leisten vermag. Während King das Ablaufschema von Akao ausbaute und verfeinerte, strebt der Ansatz nach dem American Supplier Institute eine radikale Reduktion auf entwicklungspezifische Schwerpunkte an. Daher soll nachfolgend der ASI-Ansatz näher untersucht und beschrieben werden.

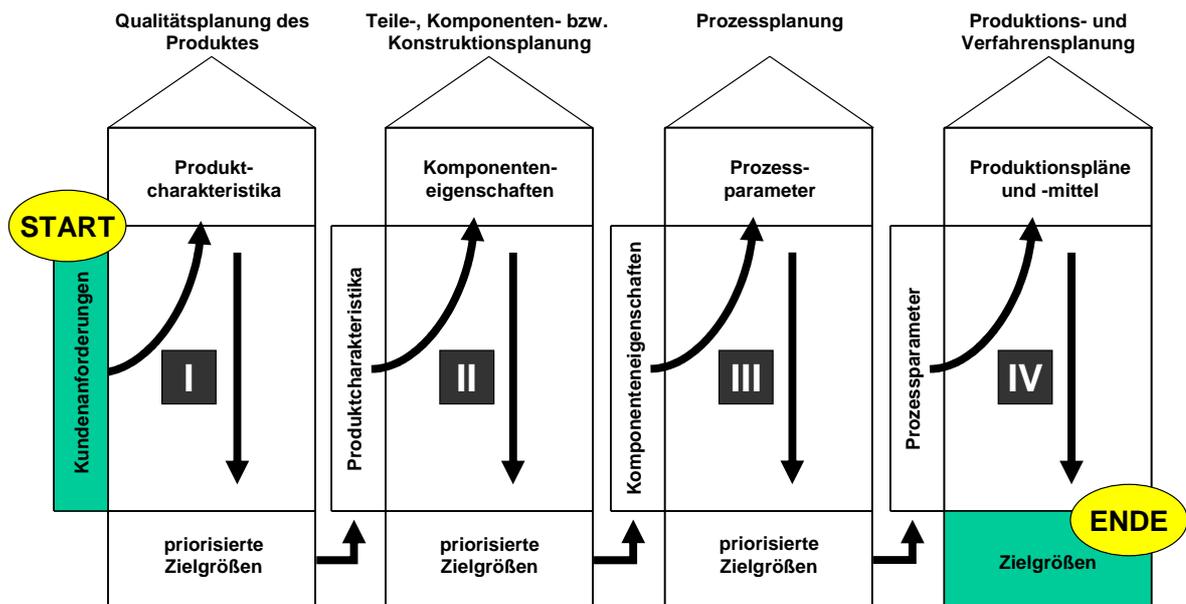


Abb. 18: Ablaufschema der QFD nach ASI

Die konsequente Umsetzung der Stimme des Kunden in die Sprache des Unternehmens gelingt mit Hilfe des Ablaufschemas der QFD nach ASI. Oberste Zielsetzung ist die Definition von Anforderungen, welche aus einem Abgleich hervorgehen [KIN 1994].

Zunächst sollte erwähnt werden, dass die QFD nach ASI in Analogie zu ihren beiden Vorbildern nach Akao und King grundsätzlich in einem Team durchgeführt wird [SCH 2004]. Eines der wichtigsten Merkmale der QFD ist die konsequente Umsetzung und Ausrichtung der Kundenanforderungen in technische Merkmale. Voraussetzungen für ihre Anwendung sind eine spezielle Schulung der Anwender, erfahrene Moderatoren und die Fähigkeit zum Ableiten von Produktmerkmalen [WEK 1995].

Im Wesentlichen werden, wie bereits erwähnt, zur Durchführung einer QFD vier verschiedene Hauptschritte (siehe Abb. 19) durchlaufen [DGQ 2001 Band 83-01]. Auf diese wird im Folgenden eingegangen.

Innerhalb der **Produktplanung** werden die Kundenanforderungen analysiert und strukturiert, um eine Basis für die Übersetzung in technische Merkmale des Endproduktes

zu schaffen. Dazu gehört zunächst die Identifikation der Kundenanforderungen mit anschließendem Wettbewerbsvergleich [SPE 1991]. Ziel der ersten Phase soll es sein, durch das Erfassen der Kundenanforderungen mit Hilfe der Fragestellung „Was ist gefordert?“ kritisch betrachtete „Wie“-Kriterien auszuwählen, welche wiederum als „Was?“ in die zweite Bearbeitungsphase übergehen [SAA 1997].

Es ist festzustellen, dass die grundsätzliche Zielsetzung des ersten QFD Schrittes dem Vorgehen einer System-FMEA ähnelt. So wird, wie bei der Durchführung einer System-FMEA auch eine Systemanalyse (Ist-Stand) erarbeitet. Auch hier geht es um die Untersuchung von Wirkungsbeziehungen der Bauteile und Komponenten zueinander.

Die **Teileplanung** erfolgt aus den Qualitätsmerkmalen des Produktes, wobei in mehreren Stufen die entsprechenden Merkmale der Bauteile und -gruppen entwickelt werden. Es müssen die technischen Leistungsmerkmale unabhängig von den Kundenanforderungen identifiziert werden. Die daraus resultierenden Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen technischen Leistungsmerkmalen werden aufgezeigt [SPE 1991].

Vergleicht man den zweiten Schritt der QFD nach ASI mit dem Vorgehen einer Konstruktions-FMEA, so können ebenfalls Parallelen im Vorgehen festgestellt werden. Innerhalb der Konstruktions-FMEA ist die Untersuchung einzelner Bauteile vor dem Hintergrund der Funktionserfüllung zu klären. Diese Zielsetzung wird durch die Zerlegung der technischen Merkmale in Komponenteneigenschaften verfolgt.

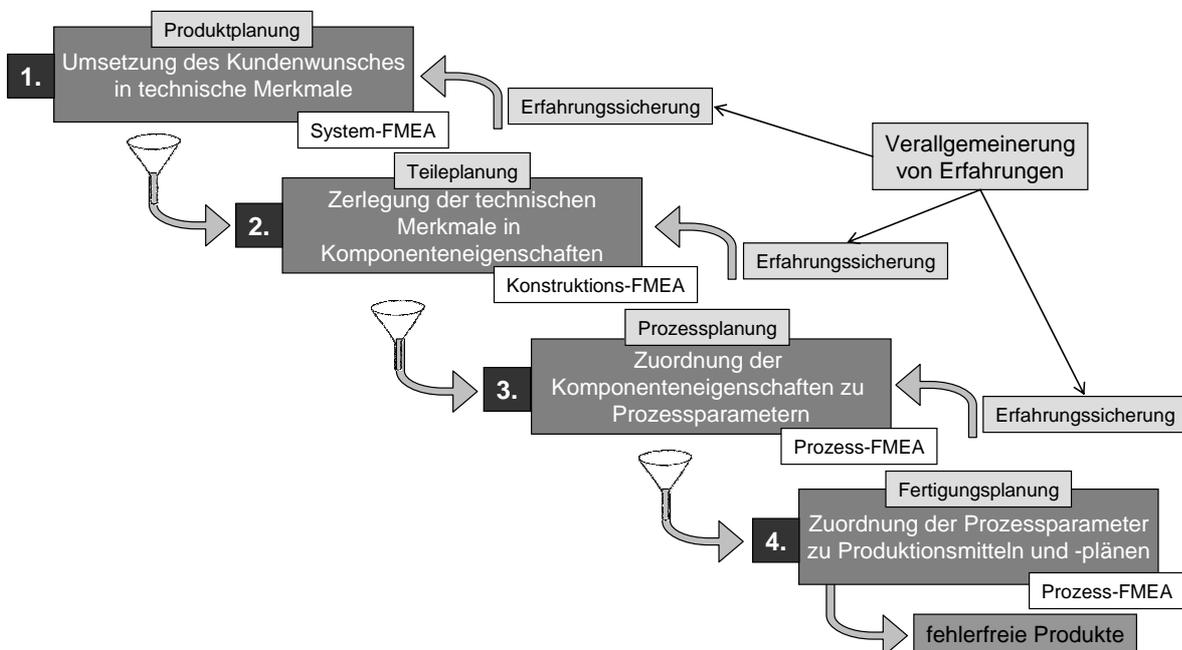


Abb. 19: Hauptschritte der QFD nach ASI [in Anlehnung an THE 2002]

In der **Prozessplanung** werden die technischen Merkmale der Bauteile den Kundenanforderungen gegenübergestellt und mittels einer Gewichtung beurteilt. Anschließend

erfolgt ein Vergleich mit bereits existierenden Produkten. Ziel der dritten Phase ist die Entwicklung maßgebender Prozesscharakteristiken [SAA 1997].

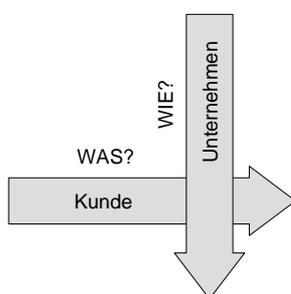
Die Ermittlung der technischen Realisierbarkeit wird im letzten Schritt, der **Fertigungsplanung**, überprüft. Hierzu werden die zur Einhaltung der Parameter notwendigen Arbeitspläne festgelegt [SPE 1991]. Dabei ist die Bestimmung von Ziel- oder Sollwerten, aber auch eine detaillierte Beschreibung der Verfahren bis hin zur Erstellung von Arbeitsanweisungen notwendig [SAA 1997].

Die letzten beiden Schritte der QFD nach ASI weisen einige Gemeinsamkeiten im Vergleich zum Vorgehen der Prozess-FMEA auf. Werden in der Durchführung der QFD nach ASI Komponenten oder Prozessparameter zugeordnet, so zielt auch die Prozess-FMEA auf die Untersuchung der Fertigungs- und Montagefähigkeit von Komponenten ab. Hierbei ist zu bemerken, dass die weiterentwickelte System-FMEA (siehe Kapitel 2.3.1.1) diese Untersuchungsfähigkeiten nicht aufweist. Daher gilt:

Sowohl bei der Durchführung einer FMEA, als auch einer QFD ist stets eine schrittweise Erfahrungssicherung der gewonnenen Erkenntnisse aus der Konstruktion, der Fertigung und Montage nachzuschalten. Hierbei bietet es sich an, aufgrund des Wiedererkennungseffektes verallgemeinerte Stichwörter zu den jeweiligen Themenbereichen der Produktentstehung zu erstellen.

Im Folgenden wird die grundsätzliche Strukturierung und Vorgehensweise innerhalb der Systematik einer QFD erläutert. Diese gilt sowohl für die QFD-Struktur nach Akao, als auch King und ASI.

Die geforderte Übersetzung der Kundenanforderungen in technische Merkmale erfolgt durch miteinander in Beziehung setzen der Fragen „Was“ und „Wie“. Das „Was“



beschreibt die Wünsche des Kunden, das „Wie“ die des Unternehmens. Es erfolgt ein vierstufiger Prozess, begonnen beim Produkt, über die Umsetzung in Teilemerkmale, die dann ihrerseits in der Phase der Fertigungsplanung die Basis für die Festlegung der Prozessparameter bilden.

Anschließend werden aus den Parametern Standards für die einzelnen Arbeitsschritte abgeleitet [WEK 1995]. Das Hilfsinstrument zur Durchführung einer QFD besteht aus Qualitätstafeln, die aus mehreren Matrixfeldern bestehen und aufgrund ihrer äußeren Form „House of Quality“ genannt werden [VDA (2) 2003].

Die grundsätzliche Vorgehensweise zur Durchführung der Qualitätstechnik beinhaltet ein konsequentes Frage- und Antwortspiel mit den zwei bereits erwähnten Grundfragen: **WAS?** Und **WIE?** – Was wird erwartet? – Wie erfüllen wir die Forderungen?

Während die horizontale Achse den Markt, d. h. die Kundenforderungen abbildet, stellt die vertikale Achse das Unternehmen bzw. die Erfüllung der technischen Forderungen seitens der Kunden dar.

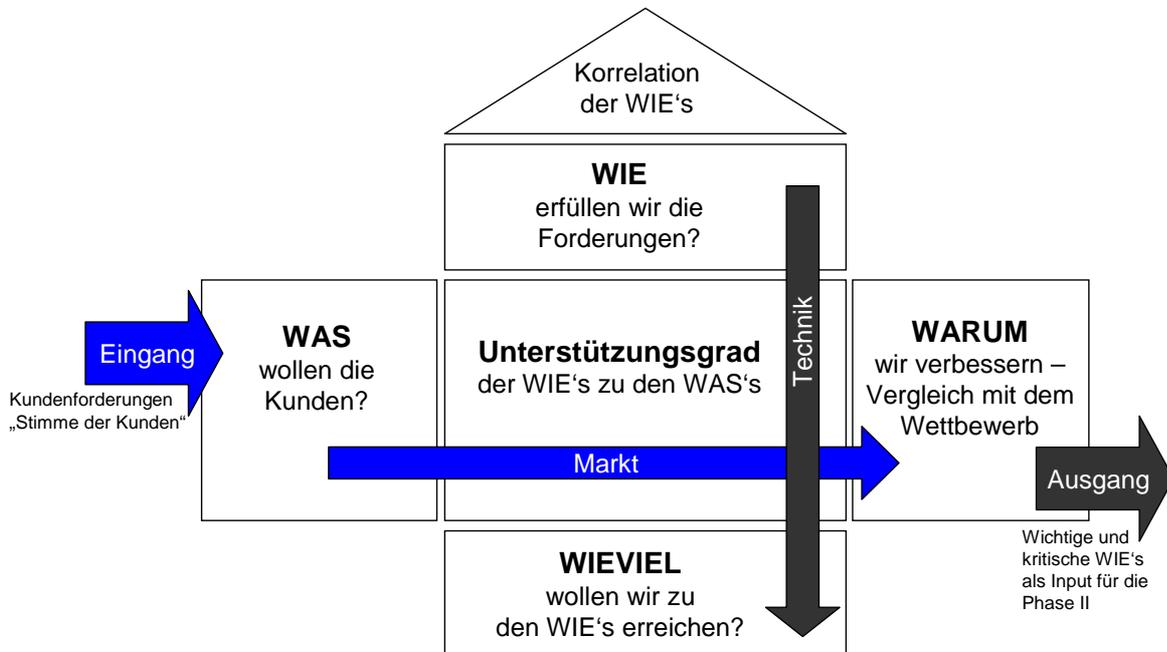


Abb. 20: Schritt eins der QFD Technik [SAA 1997]

Zum besseren Verständnis soll der erste Schritte der QFD Technik „Umsetzung der Kundenwünsche in technische Merkmale“ mit Hilfe des „House of Quality“ weiter untergliedert werden [VDA (2) 2003].

1. Ermittlung und Gewichtung der „Stimme des Kunden“ (Kundenanforderungen)
2. Wettbewerbsanalyse der „Stimme des Kunden“ aus Kundensicht
3. Definition der Beschwerden, Garantiefälle und Verkaufsargumente
4. Ermittlung der kritischen Kundenanforderungen
5. Bestimmung der innerbetrieblichen Merkmale und ...
- 5a ... ihrer Wechselwirkungen mit den Kundenforderungen
6. Wettbewerbsanalyse der innerbetrieblichen Merkmale aus Unternehmenssicht
7. Zusammenstellung von Testmethoden, heutigen und zukünftigen Spezifikationen
8. Bewertung der Schwierigkeiten, das Ziel zu erreichen
9. „In-House-Test“ zur Erarbeitung von kritischen innerbetrieblichen Merkmalen
10. Korrelationen von kritischen innerbetrieblichen Merkmalen mit allen anderen

Die beschriebenen zehn Schritte zur Ermittlung von technischen Merkmalen bzw. Erfüllung der technischen Forderungen seitens der Kunden werden mit Hilfe eines schematischen Ablaufes des „House of Quality“ dargestellt.



Abb. 21: Schematischer Ablauf des „House of Quality“ [in Anlehnung an VDA (2) 2003]

Darüber hinaus kann QFD als Basis zur Anwendung weiterer vorbeugender QM-Techniken angesehen werden kann [VDA (2) 2003]. Darauf wird nicht näher eingegangen.

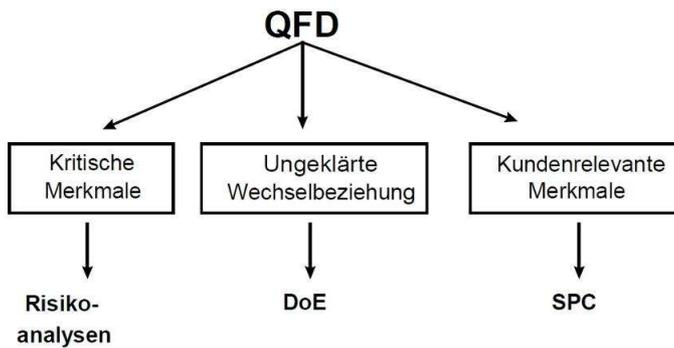


Abb. 22: QFD als Grundlage weiterführender Methoden [VDA (2) 2003]

In der folgenden Tabelle werden die wesentlichen Vor- und Nachteile nach den Ansätzen von Akao, King und dem American Supplier Institute (ASI) gegenübergestellt (Tab. 4).

| | Akao | King | ASI |
|------------------|---|--|--|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> • umfassenderer Ansatz zur Beherrschung komplexer Prozesse und bewährten Technologien [AKA 1992] • starker Fokus auf kritische Merkmale und auf Kostensenkungspotentiale [AKA 1992] • Variantenanalysen mit dem Ziel von Standardisierungen (korrelierende Merkmalswerte und Komponenten) [AKA 1992] • Fokus auf Weiterentwicklungen | <ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung von Konstruktions- und Produktionsplanungsprozessen [KIN 1994] • gezielte Auswahl von notwendigen Matrizen, d. h. Bereitstellung eines kompletten „Werkzeugkastens“ [KIN 1994] • Integration von Konzeptplanung und Prozessentwicklung [KIN 1994] • Vorschlag einer Bearbeitungsreihenfolge durch Nummerierung [KIN 1994] • Integration der gängigen Qualitätsmethoden, wie FMEA, FTA, usw. [KIN 1994] • Integration der Spalte „Neue Konzeptselektion“ von Stuart Pugh [PUG 1981] • Fokus sowohl auf Neu- als auch auf Weiterentwicklungen • Berücksichtigung bereits gewonnener Erkenntnisse | <ul style="list-style-type: none"> • geringer Lernaufwand, daher für Erstanwender schneller verständlich • klare, überschaubare Struktur, daher gute Rückverfolgbarkeit zum Kunden • hohe Praxisrelevanz • gute Anwendbarkeit bei Teilen und Komponenten, jedoch umständlich bei komplexen Systemen wie Automobile, Computer usw. [KIN 1994] • Fokus sowohl auf Neu- als auch auf Weiterentwicklungen |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> • hoher Aufwand, da nur für individuelle Entwicklungstätigkeiten verwendbar • unübersichtlich, da keine Bearbeitungsreihenfolge (Durchgängigkeit der Entwicklungsergebnisse geht verloren) • nicht für Erstanwender geeignet | <ul style="list-style-type: none"> • höherer Aufwand gegenüber Akao • keine klare Vorgehensweise; zahlreiche Querverweise, damit oftmals unübersichtlich [KIN 1994] • erweiterter Ansatz erfordert zahlreiche Kenntnisse vom Anwender [KIN 1994] • nicht für Erstanwender geeignet | <ul style="list-style-type: none"> • keine Berücksichtigung bereits vorhandener Erkenntnisse • keine Integration gängiger vorbeugender QM-Techniken, wie FMEA usw. • geringe Eignung bei der Entwicklung kostengünstiger Innovationen [KIN 1994] |

Tab. 4: Vergleich der QFD-Ansätze nach Akao, King und ASI

2.3.2.2 Vorteile der QFD

Die QFD ist eine systematisch, teamorientierte vorbeugende QM-Technik [GER 1998]. Daher besitzt die Methode viele Vorteile, die für den Einsatz in der Produktentwicklung sprechen.

Die QFD ermöglicht es, aufgrund ihrer starken Teamorientierung sowohl Ökonomen als auch Techniker an einen „Tisch“ zu bekommen. Es entsteht eine gemeinsame Sicht auf das Produkt. Mit Hilfe der bereichsübergreifenden Kommunikation wird ein einheitliches Situationsverständnis der Teammitglieder geschaffen und so auftretende Zielkonflikte gelöst. Die QFD berücksichtigt die Anregungen aller Teammitglieder bei der Produktentwicklung.

Durch eine systematische Vorgehensweise und klare Richtlinien wird ein strukturiertes Vorgehen erreicht. Dies gilt jedoch nur für die Methodik nach King und ASI.

Die durch die QFD geforderte Strukturierung in der frühen Phase der Produktentwicklung ermöglicht allen Beteiligten, wie Konstrukteuren, Einkäufern, Qualitätsingenieuren usw., sich einen Überblick über den derzeitigen Entwicklungsstatus zu verschaffen. Die QFD-Technik kann als Projektstrukturierungshilfe bezeichnet werden.

Mit Hilfe der QFD kann die Entwicklungszeit eines Produktes bei gleich bleibender Produktqualität um bis zu 50% verkürzt werden, die Anlaufkosten für die Produktion um bis zu 60% und die Änderung um bis zu 50% reduziert werden [GRI 1992; MAR 1991; O'NE 1992; KAM 1994]. Diese Erkenntnis ist einer der Hauptgründe, warum die Industrie der vorbeugenden QM-Technik ein hohes Nutzenpotential zuweist [VDA (5) 2007].

2.3.2.3 Schwächen der QFD

Neben den positiven Ansätzen beinhaltet die Anwendung der QFD auch Schwächen. So erfordert sie einen sehr hohen zeitlichen Aufwand, der in einem Entwicklungsprojekt selten gegeben ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass für jedes neue Entwicklungsprojekt eine vollständig neue Untersuchung durchgeführt werden muss und damit kaum standardisierte Ansätze möglich sind.

Eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg der Methode ist die unternehmensweite Erfüllung der Anforderungen aller Kunden. Dies setzt die Koordination aller am Entwicklungsprojekt beteiligten Bereiche voraus. Dabei sind nicht nur die eigentlichen Verbraucher als Kunden zu betrachten, sondern auch die Mitarbeiter im eigenen

Unternehmen. Dieser organisatorische Aufwand birgt oftmals eine nicht zu unterschätzende Schwachstelle in der Anwendung der Qualitätstechnik.

Die Gefahr von Übersetzungsfehlern beim Übergang von einem Schritt zum nächsten ist ein weiteres schwerwiegendes Problem. Somit eignet sich die QFD weniger zur Absicherung von Falschkonstruktionen, vielmehr ist es die Basis für weiterführende Analysen.

Darüber hinaus lassen einzelne Übersetzungsschritte der Methode kritische Produktmerkmale aufkommen, die zwingend weitere Untersuchungen in Form von Risikoabsicherungen, z. B. FMEA, erfordern. Auch können ungeklärte Wechselbeziehungen zwischen zwei Kriterien entstehen, die im Nachgang nicht weiter untersucht werden.

Eines der Hauptgründe für die geringe Anwendung der QFD liegt in der hohen Komplexität. So kann selbst der stark vereinfachte und besser zu überblickende ASI-Ansatz wenig zur praxisorientierteren Anwendung beitragen. Zwar prägte Akao während der Entwicklung der QFD-Technik den Satz „Copy the spirit, not the form“ [AKA 1992], doch lassen Unternehmen Handlungsempfehlungen zum individuellen Einsatz für ihre Belange vermissen [DGQ Band 83-01 2001].

Ein weiteres Problem stellt die Bildung von Wechselbeziehungen dar. Geht man beispielsweise von 15 gefundenen Kundenanforderungen aus, so ergeben sich bei einer ebenfalls angenommenen Zahl von 30 Qualitätsmerkmalen 450 ($15 \cdot 30 = 450$) zu bewertende Beziehungen und 435 ($29 \cdot 30 / 2 = 435$) mathematisch mögliche Korrelations-einträge im Dach des HoQ. Die Komplexität erhöht sich bei der Anwendung des zweiten HoQ um ein weiteres, da die Qualitätsmerkmale mit den Qualitätsmerkmalen aller wesentlichen Komponenten- und Teilemerkmalen verbunden werden. Gerade bei der Entwicklung von komplexen Systemen sind die zuvor angenommenen Zahlen keineswegs unrealistisch, so dass diese Art von Lösungsfindung für viele Unternehmen aus Ressourcengründen nicht umsetzbar ist [DGQ Band 83-01 2001].

Weiter ist zu bemerken, dass sich der Erfolg der Methodik sehr spät einstellt. Dies kann zu Akzeptanzproblemen bei den Anwendern der vorbeugenden QM-Technik führen. So hat beispielsweise das Unternehmen Toyota vier Jahre zur Implementierung der Methode benötigt [DGQ Band 83-01 2001].

2.3.3 Design Review Based on Failure Mode (DRBFM)

2.3.3.1 Beschreibung der DRBFM

Die vorbeugende QM-Technik Design Review Based on Failure Mode (DRBFM) wurde von Prof. Dr. Yoshimura [SCH 2005] entwickelt, welcher 32 Jahre im Automobilunternehmen Toyota für den Bereich Zuverlässigkeit zuständig war. Der Hauptfokus der entwicklungsbegleitenden Kreativitätsmethode liegt in den verschiedenen Arten von Änderungen an bestehenden Systemen, Produkten und Prozessen. Dazu zählen zum einen Varianten- und Applikationsprojekte, aber auch zu untersuchende Wechselwirkungen mit anderen Systemelementen und ggf. sich ändernden Einsatzbedingungen [SCH 2007]. Während die FMEA vor allem bei Neuentwicklungen eines Produktes zum Einsatz kommt, unterstützt die DRBFM bei der Untersuchung und Absicherung von Varianten- und Applikationsprojekten.

Grund für die Weiterentwicklung des FMEA-Gedankens war die Erkenntnis seitens Yoshimura, dass ein kreatives Design Review durch den formellen Aufbau des FMEA Formblattes gehemmt wird [SCH 2007].

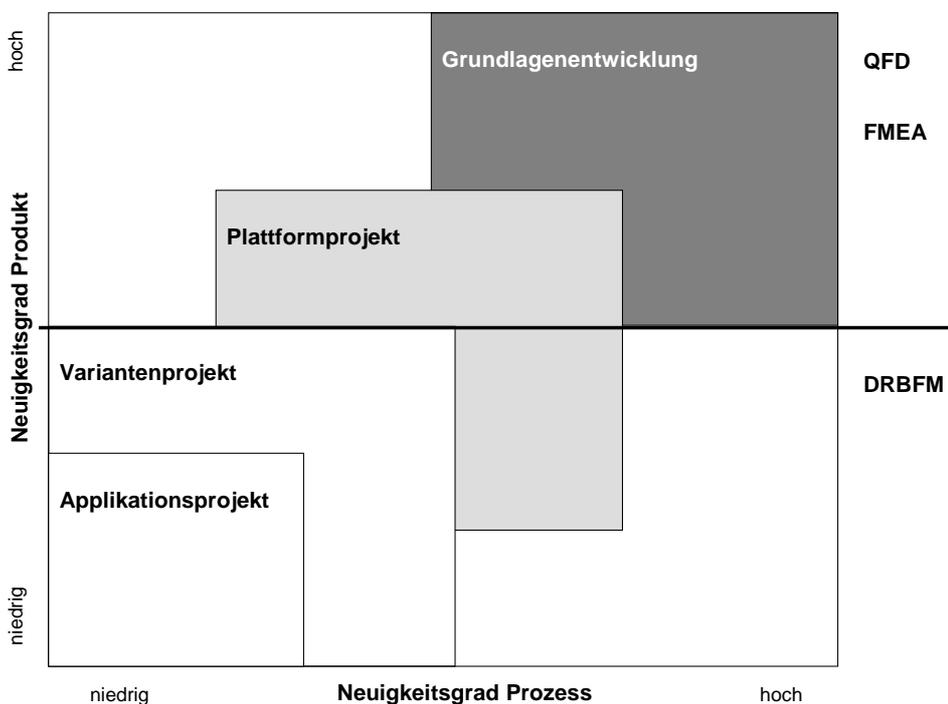


Abb. 23: Zielkorridor der Qualitätstechnik DRBFM [KAP 2006]

Im Gegensatz zur FMEA wird bei der DRBFM nicht mit Moderatoren gearbeitet. Es ist ein Werkzeug zur Erzeugung eines robusten Designs und folglich eine Methode, die von Entwicklern und Ingenieuren angewendet wird. Daher gilt grundsätzlich, dass die DRBFM eine Ergänzung zur FMEA darstellt und diese dadurch aufwertet [PLA 2005]. Hier setzt

die DRBFM mit dem Grundgedanken an, dass vor allem Änderungen das höchste Fehlerpotential beinhalten [KRI 2006]. Die Konzentration auf Änderungen stellt sicher, dass der Fokus der Entwicklungsarbeit nur in die kritischen Aspekte des Produktes einfließt [SCH 2005].

DRBFM ist die Kernmethode in der japanischen Philosophie Mizenboushi [NEU 2006], welche auch GD-Cube (GD³) genannt wird. Sie greift die Probleme in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses auf [KRI 2006], um potentielle Fehler zu antizipieren und Schwierigkeiten zu verhindern – bevor sie entstehen. Dazu dient ein kreativer Gedankenaustausch, welcher methodisch durch Formblätter und Fragetechniken unterstützt und geleitet wird [NEU 2006]. Die DRBFM ist bestrebt, ein hohes Maß an Übernahmefähigkeit von Produkten, Prozessen und Konzepten zu erreichen. Damit verfolgt sie den Grundsatz der Produktstandardisierung.

DRBFM besteht aus den Elementen „Good Design“, „Good Discussion“ und „Good Dissection“ [SCH VDI 2005]. Es bildet die Basis für ein strukturiertes Vorgehen, bei dem Änderungen durch Vergleiche mit bereits entwickelten und evaluierten Systemkomponenten auf mögliche Fehler analysiert werden.

Das erste Element „Good Design“ bezeichnet den Einsatz möglichst vieler bewährter robuster Komponenten und Prozesse [SCH VDI 2005]. Dieser Sachverhalt impliziert ein zentrales Variantenmanagement und ein ausreichendes Wissen über die Zahl und Art der verfügbaren Bauteil- und Systemvarianten. Da die DRBFM auf eine kreative Diskussion von Teammitgliedern setzt, müssen fachlich fundierte Kenntnisse sowohl über das Produkt, Produktleben aber auch die funktionalen Wirkketten und physikalischen Einflüsse zueinander vorliegen [SCH 2007]. Des Weiteren beinhaltet das Element „Good Design“ eine Art Rezeptur für Entwickler, um gezielt auf mögliche Problempunkte aufmerksam zu machen.

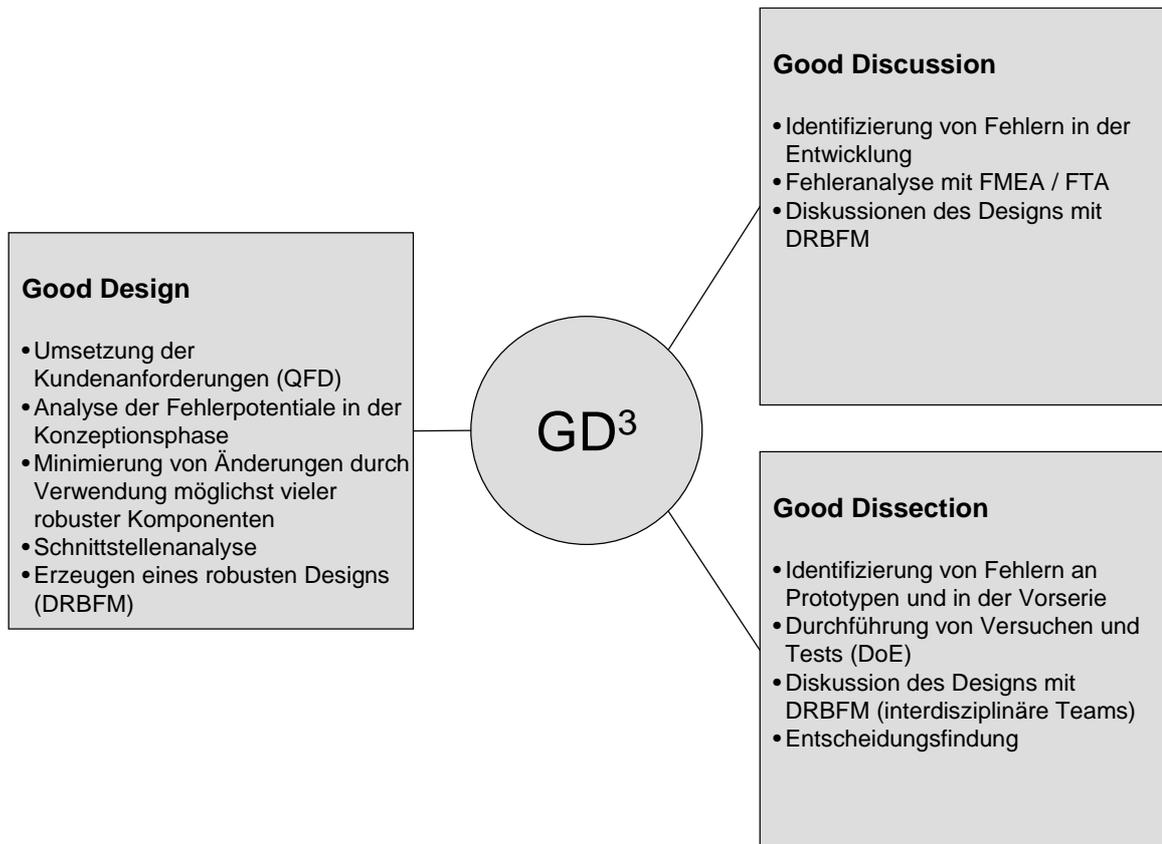


Abb. 24: Elemente der Qualitätstechnik DRBFM [SCH 2007]

Die Elemente „Good Discussion“ und „Good Dissection“ verfolgen eine systematische Analyse aller Änderungen, ihrer Auswirkungen und den Einsatz geeigneter Maßnahmen. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass innerhalb der Zusammenarbeit von interdisziplinären Teams besondere Aufmerksamkeit auf die Schnittstellen von Komponenten oder Bauteilen verwendet werden sollte [SCH VDI 2005].

Die Vorgehensweise der DRBFM gliedert sich in zwei Phasen: die Analyse-Phase („kreative FMEA“) und die Design-Review-Phase [SCH 2007]:

- Analyse Phase („kreative Phase“):
 - Erarbeitung von Änderungen und deren Fehler
 - Identifizierung möglicher Fehlerursachen und Wechselwirkungen mit dem Ziel eines robusten Designs
- Design-Review-Phase:
 - Untersuchung weiterer Fehlerpotentiale
 - Konstruktive Überarbeitung von Fehlern in der Analysephase
 - Abstimmung mit der Fertigung

2.3.3.2 Vorteile der DRBFM

DRBFM ist eine Methode zur Fehlervermeidung, die den Entwicklungsprozess eines Produktes begleitet. Sie entstand aus der Erkenntnis, dass Änderungen das höchste Fehlerpotential aufweisen.

Die DRBFM ist auf interdisziplinäre Teamarbeit ausgerichtet. Dieser kollektive Aspekt führt zu einer Aufhebung der unsichtbaren Wand zwischen Entwicklung und Produktion eines Produktes und zu einer hohen Durchgängigkeit des Marktbezugs im Unternehmen. Dadurch wird vor allem der Abstimmungsprozess der verschiedenen Interessengruppen während der Produktentstehung wesentlich erleichtert.

DRBFM trägt maßgeblich dazu bei, den Identifikationsgrad des Entwicklers gegenüber seinen Produkten zu erhöhen. Er entscheidet, ob eine mögliche Variante die Fähigkeit hat, in seinem Umfeld eine wichtige Rolle zu übernehmen oder nicht. Neben einem zentralen Variantenmanagement wird die Basis für ein Wissensmanagement weiterer Entwicklergenerationen geschaffen.

Aufgrund der Unterteilung von Komponenten und Subsystemen in „verdächtige“ Problemfelder, welche durch Designänderungen oder Auswirkungen von wechselnden Umweltbedingungen hervorgerufen werden, wird sich ausschließlich auf die Kernprobleme der Entwicklung konzentriert [SCH VDI 2005]. Daher wird die DRBFM immer wieder als eine „Philosophie zur diskursorientierten Design-Findung beziehungsweise Design-Evaluierung bezeichnet [SCH 2005]“.

2.3.3.3 Schwächen der DRBFM

Der Einsatz der DRBFM ist im Vergleich zu anderen vorbeugenden QM-Techniken, z. B. der FMEA, wenig standardisiert und muss an die Bedürfnisse der Unternehmen angepasst werden.

Im Vergleich zur FMEA und QFD kann bei einer näheren Untersuchung der DRBFM nicht von einem Werkzeug gesprochen werden. Es ist vielmehr eine Weiterführung und ein Aufgreifen entstandener Defizite im Umgang mit Methoden zur Fehlervermeidung. DRBFM trägt somit zur „Aktualisierung“ bestehender vorbeugender QM-Techniken bei. Jedoch greift DRBFM auf bestehende Techniken und Hilfsmittel (z. B. Formblatt der FMEA) zurück.

Des Weiteren berücksichtigt DRBFM keine Abstimmung zwischen Entwicklung und Produktion in den frühen Phasen der Produktentwicklung. Sie konzentriert sich ausschließlich auf entwicklungsspezifische Belange. Zwar weist DRBFM immer wieder darauf hin, dass in den frühen Entwicklungsphasen das größte Beeinflussungspotential hinsichtlich Kosten usw. zu sehen ist, jedoch bezieht sich dies nur auf Varianten, Änderungen und Schnittstellen. Auch finden keine nähere Beschreibung der Schnittstellenarten und deren Beeinflussung zueinander statt.

Eine Auswahl, Priorisierung und Bewertung unterschiedlicher Konzeptideen zu Beginn der Entwicklung wird vollkommen außer Acht gelassen. So könnte die DRBFM mit Hilfe der FMEA in diesem Punkt erheblich aufgewertet werden.

Besonders lässt DRBFM ein differenziertes Vorgehen bzw. eine Unterteilung der Kriterien Neuentwicklung und Übernahme vermissen. Auf dem Gebiet des Variantenmanagements wäre eine derartige Unterteilung für eine Reduzierung der Entwicklungsaufwände notwendig.

3 Zwischenfazit, Problemstellung

Den Untersuchungen des letzten Kapitels kann entnommen werden, dass es eine Reihe zielgerichteter vorbeugender QM-Techniken gibt, jedoch werden diese nur in unzureichendem Maße angewandt bzw. führen nur bedingt zum Ergebnis. Dies lässt den Schluss zu, dass die Gründe für die beschriebenen Defizite im grundsätzlichen Aufbau und der Herangehensweise zu suchen sind. Die Anwendung von Methoden zur Fehlervermeidung erfordert neben einem hohen Methodenwissen einen hohen Personaleinsatz. Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, kommt es zu einer geringen Aussagegenauigkeit innerhalb der Anwendung der vorbeugenden QM-Technik. Auch der unzureichende Bekanntheitsgrad der Wirkmechanismen und der erforderliche Zeitaufwand gehören zu den zentralen Problembereichen. Gerade dies hindert vor allem kleine und mittelständische Unternehmen daran, die an sich sehr leistungsstarken Methoden anzuwenden und somit von ihrem Nutzen zu profitieren.

Weiter ist die Anwendung der kompletten Vielfalt von vorbeugenden QM-Techniken nicht in jedem Projekt notwendig, so dass einzelnen Teile durchaus ausreichen würden. Dies wird durch die starren Anwendungsschemata verhindert. Die derzeitigen Methoden zum Aufdecken potentieller Fehler stellen daher Insellösungen dar und sind nur geringfügig untereinander kombinierbar.

Eine objektive Aussage zur Wirksamkeit ist nur mit Hilfe von Kriterien möglich, welche die zentralen Zielsetzungen ihrerseits vertreten. Ein Kriterium ist die frühzeitige Fehlererkennung und -vermeidung, um unmittelbar auf die Konstruktion des einzelnen Bauteils eingreifen zu können. Eine Verzögerung der Integration von vorbeugenden Maßnahmen in den Konstruktionsprozess würde unweigerlich zu Kostenerhöhungen des Projektes führen.

Ein weiteres entscheidendes Beurteilungskriterium ist die Ermittlung der Fehlerursache. Mit Hilfe der Fehlerursache ist es möglich, eine Argumentationskette hinsichtlich der frühzeitigen Vermeidung von Fehlkonstruktionen aufzubauen. Oftmals besteht die Problematik, dass nur die Vermeidung von Fehlersymptomen und nicht deren Fehlerursachen identifiziert werden. So kann das Fehlersymptom eine Geräuschbildung zwischen zwei aneinander liegenden Bauteilen sein, jedoch die Ursache, wie beispielsweise eine falsche Maßkettenbetrachtung, wird dadurch nicht beschrieben.

Die Ermittlung der Fehlerursache trägt zur Verhinderung des Fehlerrisikos bei und impliziert dadurch eine Bewertung des möglichen Fehlergeschehens. Es ist darauf zu achten, die notwendigen Zeitaufwände und den eigentlichen Zeitpunkt des Eingriffes der

Methode zur Fehlervermeidung zu bestimmen. Sie sind wichtige Prämissen zur Effizienzbestimmung vorbeugender QM-Techniken.

Ein weiterer Mangel besteht in der ungenügenden oder gar fehlenden Analyse, Beschreibung und Bewertung von Wechselwirkungen der Komponenten im System. Um Fehler, welche im Zusammenspiel verschiedener Systeme auftreten können, zu erkennen, ist wiederum eine Konzentration auf mögliche Fehlerursachen unumgänglich. Dazu ist es erforderlich, auf die zunehmende Komplexität von einzelnen Komponenten oder derer, die in einem Verbund zu einander stehen, einzugehen. Gelingt es, dies innerhalb der Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme von Komponenten umzusetzen, so kann von einer umfassenden Betrachtung der Nullfehlerproduktion gesprochen werden.

Aufgrund der teilweise hohen Anwendungskomplexität vorbeugender QM-Techniken sind zeitintensive Schulungen notwendig. Dies gilt vor allem für den Aufwand der Methodik bei der Erstellung einer QFD. Der eigentliche Aufwand zur Ausführung der QFD kommt hierbei noch hinzu. Hohe Koordinationsaufwände zwischen den am Produktentstehungsprozess beteiligten Personen sind dazu ein Beispiel. Auch wird innerhalb der QFD keine detaillierte Beschreibung der Fehlerursachen vorgenommen. Somit kann von dem zentralen Anspruch der Standardisierbarkeit nicht gesprochen werden. Dazu kommt, dass die Wirksamkeit der Methoden zur Fehlervermeidung mit einem hohen Zeitversatz eintritt.

Innerhalb der Bildung der Risikoprioritätszahl der FMEA werden Fehlerart, Entdeckungs- und Auftretenswahrscheinlichkeit miteinander vermengt. Somit geht der eigentliche Fehler (B_{Fehler}) nur zu einem Drittel ein, da die Faktoren Auftretenswahrscheinlichkeit A_{Fehler} und Entdeckungswahrscheinlichkeit E_{Fehler} zur genaueren Fehlerspezifizierung nicht beitragen.

Die Dokumentationsweisen und Kennzahlensysteme der untersuchten Verfahren erweisen sich als grundlegend unterschiedlich. Während die FMEA auf Listen basiert, verwendet die QFD ein Analyseverfahren, welches auf Matrizen aufgebaut ist. Dieses Erkenntnis zeigt, wie schwierig die Anwendung und gleichermaßen Kopplung und Umsetzung der Verfahren ist.

Die vorbeugende QM-Technik DRBFM verwendet kein eigenes Analyseverfahren. Sie kann als erste integrative Methode angesehen werden.

Die DRBFM sieht ihren Schwerpunkt in der Minimierung von Änderungen und deren potentiellen Fehlern. Die Methode setzt auf der Basis der Grundlagentechniken (FMEA usw.) auf und versucht mit Hilfe der Standardisierung von bewährten Produkten und Prozessen dem Anspruch einer vorbeugenden QM-Technik gerecht zu werden.

Mit Hilfe der Entscheidungsfindung in interdisziplinären Teams wird die Verwendung möglichst vieler robuster Komponenten ermöglicht. Dabei bedient sie sich zu großen Teilen der Fehleranalyse, wie das der FMEA oder QFD.

Eine ausschließliche Konzentration auf Einzelprozesse führt bei der Anwendung der FMEA und DRBFM zur ungenügenden Abstimmung zwischen Konstruktion und Fertigung. Lediglich die QFD integriert innerhalb der Produktentstehung die Phasen Produkt-, Teile-, Prozess- und Fertigungsplanung und verfolgt damit den Ansatz eines systematischen Verbesserungsprozesses.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass sowohl die FMEA als auch QFD nach ASI keine Unterscheidungen zwischen Neu-, bzw. Weiterentwicklung und Übernahme vornehmen. Dazu kommt, dass die DRBFM sich ausschließlich nur auf die Inhalte der Weiterentwicklung von Produkten konzentriert.

Aus den Ergebnissen der bisherigen Untersuchungen kann geschlossen werden, dass die derzeitigen vorbeugenden QM-Techniken grundsätzlich Fehler oder zukünftig auftretende Fehler aufzeigen. Jedoch wird in keinsten Weise auf die Vermeidung des Fehlers eingegangen. Die eigentlichen Fehlerursachen werden nicht identifiziert. Damit können derzeitige Methoden zur Fehlervermeidung als „Aufzeiger“ von Fehlern beschrieben werden.

Die folgende Tabelle soll die bereits beschriebenen Problempunkte nochmals in einer differenzierten Sichtweise herausstellen. Diese werden den jeweiligen vorbeugenden QM-Techniken zugeordnet. Hierbei wird die Zielsetzung verfolgt, besonders schwerwiegende Schwächen herauszufiltern, um daraus im Nachgang geeignete Handlungsfelder zur Erzielung von Null-Fehlern ableiten zu können.

| | |
|-------------|--|
| FMEA | <ul style="list-style-type: none"> • ungenügende Abstimmung zwischen Konstruktion und Fertigung (ganzheitliche Betrachtungsweise) bzw. ausschließliche Konzentration auf Einzelprozesse • fehlende Detaillierung und Bewertung der Wechselwirkungen und Beziehungen von Komponenten bzw. zwischen einzelnen Systemen • keine Unterscheidung zwischen Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme (Wahl der Konstruktionsart) • der eigentliche Fehler B_{Fehler} wird bei der Bildung der RPZ nur zu einem Drittel berücksichtigt, A_{Fehler} und E_{Fehler} tragen nicht zur Beschreibung des Fehlers bei • Aussagefähigkeit der RPZ sehr subjektiv und hängt von den Erfahrungen der Teammitglieder ab • Aufwand der Methodik gering, jedoch Aufwand der Ausführung hoch • Untersuchungsmethodik basiert auf Listen |
|-------------|--|

weiter siehe S. 53

| | |
|--------------|--|
| QFD | <ul style="list-style-type: none"> • sehr hoher zeitlicher Aufwand (wesentlich höher gegenüber FMEA) durch Bildung zahlreicher Matrizen • Erstellung einer komplexen Matrixstruktur erfordert hohen Koordinationsaufwand zwischen den am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereichen • Anwendung erfordert ausgeprägtes Methodenwissen, deshalb sehr hoher Schulungsaufwand notwendig • keine Unterscheidung zwischen Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme (Wahl der Konstruktionsart) • hohe Komplexität der Methodik aufgrund der Multiplikation von Kundenanforderungen und Qualitätsmerkmalen (Matrixstruktur) • kaum Standardisierung der vorbeugenden QM-Technik möglich, da sehr hoher Individualisierungsgrad bei der Bildung der Matrizen vorliegt • Gefahr von Übersetzungsfehlern • keine detaillierte Beschreibung der Fehlerursachen • sowohl Aufwand der Methodik, als auch Aufwand der Ausführung sehr hoch • Untersuchungsmethodik basiert auf der Bildung von Matrizen |
| DRBFM | <ul style="list-style-type: none"> • ungenügende Abstimmung zwischen Konstruktion und Fertigung (ganzheitliche Betrachtungsweise) bzw. ausschließliche Konzentration auf Einzelprozesse • geringfügige Unterscheidung zwischen Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme, da Konzentration auf entwicklungsspezifische Inhalte (Schwerpunkte der Entwicklung) • ausschließliche Konzentration auf Änderungen, d. h. Weiterentwicklung von Produkten • keine Berücksichtigung der Verhinderung der Risiken von Fehlern (getroffene Maßnahmen zur Fehlervermeidung) im Zusammenspiel verschiedener Komponenten und Systeme • sowohl Aufwand der Methodik, als auch Aufwand der Ausführung sehr hoch, da Integration der vorbeugenden QM-Techniken FMEA und QFD • keine eigene Untersuchungsmethodik, basiert auf der Integration vorhandener vorbeugender QM-Techniken (FMEA, QFD usw.) mit dem Ziel der Übernahme bzw. Weiterentwicklung von Produkten oder Prozessen |

Tab. 5: Defizite der vorbeugenden QM-Techniken FMEA, QFD, DRBFM

Die Autoren Niestadtkötter und Westkämper [NIE 1997] verfolgen den Ansatz, die bereits genannten Defizite im Nutzen und der Anwendbarkeit vorbeugender QM-Techniken in fünf Hauptgruppen unterteilen zu können. Diese sehen folgendermaßen aus:

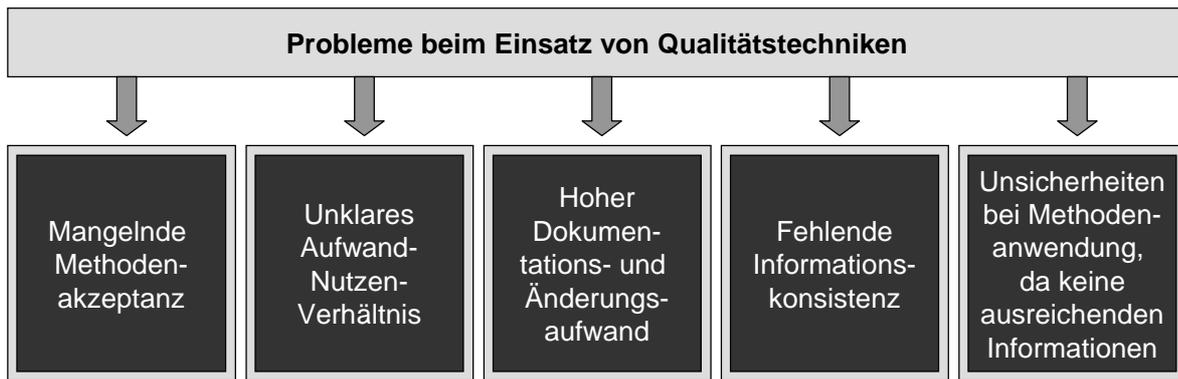


Abb. 25: Probleme beim Einsatz von Qualitätstechniken [NIE 1997]

Mangelnde Methodenakzeptanz beschreibt die innere Ablehnung einer Aufgabe. Gründe dafür können beispielsweise in der ungenügenden Schulung, Information oder gar Abwehrhaltung gegenüber der Einführung einer Qualitätstechnik liegen. In diesem Zusammenhang spielt auch die Persönlichkeitsstruktur der Anwender eine große Rolle. So könnten beispielsweise Berufspraktiker Schwierigkeiten mit einem eher theorielastigen Vorgehen bei der Anwendung der Methoden zur Fehlervermeidung haben.

Ein *unklares Aufwand-Nutzen-Verhältnis* weist auf Befürchtungen hinsichtlich des Verhältnisses von geleistetem Aufwand zur Nutzenbestimmung der Methoden hin. Die Tatsache, dass vermiedene Fehler weniger honoriert werden als im Nachgang behobene Fehler, dürfte hierbei ein wesentlicher Faktor sein. So liegt es in der Natur des Menschen, dass die Durchführung von Aktionen, in denen kein Sinn gesehen wird, auf großen Widerstand innerhalb der Anwender stoßen.

Ein *hoher Dokumentations- und Änderungsaufwand* führt unweigerlich zu einer sinkenden Motivation der Anwender. Es sollte stets der Sinn des Qualitätswerkzeuges über der eigentlichen Pflege und Befüllung stehen, um zum einen eine zügige Bearbeitung gewährleisten zu können, zum anderen den kreativen Freiraum der Anwender nicht unnötig einzugrenzen.

Kommunikative Schwierigkeiten führen stets zu einer *fehlenden Informationskonsistenz* und stören die netzwerkartige Struktur zwischen den Mitarbeitern. Hierbei ist darauf zu achten, einen Gleichklang zwischen Gesagtem seitens des Senders und Aufgenommenen seitens des Empfängers herzustellen.

Unsicherheiten bei der Methoden-anwendung sind auf mangelnde Kenntnisse und nicht zuletzt fehlende Schulungsmaßnahmen der Anwender zurückzuführen. Nur ein gezielter Umgang mit vorbeugenden QM-Techniken wird der Qualität des Produktes und letztlich dem Kunden zu Gute kommen. Dazu gehört auch der Wille seitens der Anwender, veränderte Vorgehensweisen positiv unterstützen zu wollen.

Grundsätzlich sollten Methoden zur Fehlervermeidung den Standpunkt vertreten, dass jede Änderung ein Fehlerpotential beinhaltet. Somit müssen Konstruktionen daran gemessen werden, in welchem Ausmaß auf schon bekannte und bewährte Prinzipien zurückgegriffen wurde. Es gilt, transparente Bewertungsmaßstäbe in Form von klaren Anweisungen für den Übernahmeumfang des Produktes seitens vorheriger Entwicklungen für den Konstrukteur zu schaffen. Der Umfang bewährter Übernahmebauteile und -konstruktionen kann dabei maßgeblich von der Positionierung des Bauteiles oder der Baugruppe abhängen.

Die derzeitigen Methoden weisen erhebliche Mängel im Bereich der Erfahrungssicherung auf. Es besteht dringender Handlungsbedarf in der Archivierung des erarbeiteten Erfahrungswissens um die Nachhaltigkeit getroffener Qualitätsmaßnahmen absichern zu können. Dies beinhaltet die Förderung von Lerneffekten in Form von Lessons Learned. Weiter ist es unumgänglich, eine Dokumentationsform zu schaffen, die es ermöglicht, neu hinzugekommenen Projektmitgliedern den Einstieg zu erleichtern. Dadurch kann auf aktive Weise ein Aufdecken von potentiellen Fehlern durch Weitergabe von bereits bestehenden Erfahrungen erzielt werden.

4 Abgeleitete Anforderungen an eine neue vorbeugende QM-Technik

Oberste Zielsetzung bei der Entwicklung einer Methode zum Aufdecken potentieller Fehler muss eine einfache und selbsterklärende Handhabung sein. Nur so kann das übergreifende Defizit einer komplexen und zeitintensiven Anwendung eliminiert werden. Es gilt, sowohl den Aufwand der Methode, als auch den Aufwand zur Ausführung so gering wie möglich zu gestalten.

Produktänderungen aufgrund zuvor identifizierter Fehler können nur vorgenommen werden, wenn ein Großteil der Arbeitskraft in die Beseitigung von Fehlern fließt und nicht in die Anwendung der Qualitätswerkzeuge. Auf diese Weise kann der „eingesparte“ Schulungsaufwand besser zum Austausch von Erfahrungswissen und Kenntnissen genutzt werden.

Der Nachweis der Fehlerfreiheit durch festgelegte und umgesetzte Maßnahmen ist eine weitere Forderung an die Entwicklung einer neuen Qualitätsmethode. Dazu ist es notwendig, eine Maßnahmenabfrage mit dem Ziel der Fehlervermeidung zu integrieren. Der Anwender muss dazu motiviert werden, sich aktiv mit allen am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereichen in Verbindung zu setzen. Dazu gehört auch der Informationsaustausch über vorangegangene nicht behobene Fehler und deren Analyse. Fehlerursachen müssen identifiziert werden und eine Vermengung zwischen Bedeutung des Fehlers, seiner Entdeckungs- und Auftretenswahrscheinlichkeit zwingend vermieden werden. So sollte die neue vorbeugende QM-Technik als ein Teil der Unternehmenskultur gelten und damit ein Anreizsystem vermiedener und nicht behobener Fehler schaffen.

Es ist zwingend zu vermeiden, Fehler, die in der Vergangenheit gemacht wurden, zu wiederholen. Dieser Grundsatz sollte in jeder Methode zur Fehlervermeidung enthalten sein und „gelebt“ werden. Daher sind entsprechende Abstellmaßnahmen, die in vorangegangenen Projekten festgelegt wurden, auf ihre Anwendbarkeit zu prüfen. Die Erfahrungen der Umsetzung sind zu diskutieren.

Weiter finden Dokumentationen über potentielle Fehlerrisiken zu wenig Bedeutung. Es gilt Erfahrungen und Informationen festzuhalten, um diese für einen nachfolgenden Wissensaustausch nutzen zu können. Damit handelt es sich um eine Form der Wissensarchivierung.

Darüber hinaus spielt eine umfassende Betrachtung von Konstruktion, Fertigung, Montage und deren funktionalen Zusammenhänge eine entscheidende Rolle bei der fehlerfreien

Erstellung von Produkten. Es ist sich zu vergegenwärtigen, dass die konstruktive Auslegung erheblichen Einfluss auf die Produktentstehungsphasen Fertigung und Montage hat. So können konstruktive Entscheidungen zur Vermeidung von Fehlern innerhalb der Montage und Fertigung beitragen. Dies sollte das Handeln eines jeden Konstrukteurs bestimmen.

Im Rahmen des Simultaneous Engineering stellt eine zeitparallele Entwicklung von Produkt und Prozess eine wesentliche Voraussetzung dar, um ein methodisches, konstruktives Zusammenwirken der beteiligten Fachabteilungen zu ermöglichen. Daher ist eine enge Kooperation mit allen erforderlichen Schnittstellenpartnern notwendig. In diesem Zusammenhang spielt die Psychologie der Art der Informationsgewinnung eine wesentliche Rolle. Hierbei handelt es sich beispielsweise um den einfachen Sachverhalt, Wissen an benachbarten Abteilungen oder Kollegen weiter zu geben. Ziel ist es, eine korrekte, qualitativ hochwertige und zielgerichtete Vorgehensweise zu entwickeln.

Ein indirekt selbstständiger Ehrgeiz zur Informationsbeschaffung und -strukturierung überträgt die Kenntnisse und Erfahrungen aus vorangegangenen Produktentwicklungen in aktuelle Themenbereiche. Dazu werden innerhalb der motivationspsychologischen Forschung Auswirkungen beim Bearbeiten von Lernaufgaben unterschiedlichen Aufgabenformates untersucht. Hierbei wird sich die Frage gestellt, welche Rahmenbedingungen erfüllt werden müssen, um Funktionen von Lernaufgaben zu fördern. Ein Schwerpunkt ist das längerfristige Behalten angenommener Informationen oder die intensive Auseinandersetzung mit dem Gelernten. Es gilt, Wissen zu strukturieren, anzuwenden und zu überprüfen [PRO 2001]. Darüber hinaus wird die Lenkung auf die Informationen, welche als wichtig erachtet werden, als zentral angesehen.

Ziel bei der Erstellung einer Methode zum Aufdecken von potentiellen Fehlern ist es, ein geeignetes Antwortformat auf die Fragestellung von Lernaufgaben zu finden. Dazu stehen grundsätzlich das offene und das gebundene Antwortformat zur Verfügung (Tab. 6).

Das *gebundene Antwortformat*, zumeist in Form einer Multiple Choice Beantwortung, garantiert zwar im Vergleich zum offenen Antwortformat einen geringen Zeitaufwand, doch Validitätseinbußen und eine erhebliche Einschränkung der Kreativität bzgl. der Beantwortung von Fragestellungen sind Kriterien, welche das gebundene Antwortformat als nicht ideal erscheinen lassen [PRO 2001]. Auch wird dem Beantworter die Möglichkeit zu einer intensiveren Recherche in einem gebundenen Antwortformat genommen. Darüber hinaus besteht die Gefahr des Rateeffektes [KUB 2005].

Das gebundene Antwortformat kann mit Hilfe der EDV relativ einfach ausgewertet und verglichen werden.

Das *offene Antwortformat* fördert eine intensive Auseinandersetzung mit allen an der Produktentstehung betroffenen Bereichen. Daher findet es oftmals in der Durchführung

von Design Reviews Verwendung. Die Methodik des Design Reviews besteht darin, die dokumentierten Zwischenergebnisse zu identifizieren, zu beurteilen und eventuelle Änderungen zu veranlassen. Es ist ein Werkzeug der Produktsicherung, das im Rahmen der Fehlerverhütung vor Serienbeginn eingesetzt wird. Voraussetzung ist eine Projektplanung, die in die einzelnen Phasen des Entwicklungsprozesses untergliedert und in die dazu notwendigen Zwischenergebnisse unterteilt ist.

Das offene Antwortformat kann seine volle Wirkung nur dann entfalten, wenn eine interdisziplinäre Zusammenarbeit gegeben ist. Darüber hinaus besteht im Vergleich zum gebundenen Antwortformat keine Gefahr auf mögliche Hinweisreize, welche aus der Aufgabenstellung hervorgehen. Das offene Antwortformat eignet sich daher zur Überprüfung von Kenntnissen und Informationen.

| | Offenes Antwortformat Kurzantwort | Gebundenes Antwortformat Multiple Choice |
|------------------|--|--|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> • Anregung zur intensiven Auseinandersetzung mit allen betroffenen Bereichen, d. h. Förderung einer tiefen Informationsverarbeitung [GAY 1980; DUC 1981] • keine Gefahr von möglichen Hinweisreizen, welche aus der Aufgabenstellung hervorgehen [HAY 1994] • gute Eignung zur Überprüfung von Kenntnissen | <ul style="list-style-type: none"> • schnelle Auswertbarkeit, d. h. geringer Zeitaufwand [PRO 2001; KÖR 2001] • hohes Maß an Replizierbarkeit der Ergebnisse unter gleichen Bedingungen⁷ [PRO 2001; KÖR 2001] • geringe Subjektivität der Ergebnisse |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> • hoher Kenntnisgrad des Beantworters / Fachstelle notwendig [PRO 2001; KÖR 2001] • evtl. hoher Zeitaufwand notwendig | <ul style="list-style-type: none"> • Voraussetzung: Antwort muss bekannt sein • eventuelle Validitätseinbußen [PRO 2001; KÖR 2001] • Einschränkung der Freiheitsgrade / Kreativität bzgl. der Beantwortung der Fragestellung [PRO 2001; KÖR 2001] • Gefahr des Rateeffektes besteht [KUB 2005] |

Tab. 6: Entscheidungsfindung offenes vs. gebundenes Antwortformat

⁷ Eine Wiederholung der Fragestellung zu einem anderen Zeitpunkt ergibt das gleiche Ergebnis.

Das offene Antwortformat muss durch die Fragestellung sicherstellen, dass der Beantworter sämtliche Erfahrungen und Kenntnisse zu der jeweiligen Thematik dokumentiert.

Mit Hilfe der Bildung indirekter Fragestellungen ist es möglich, „wahre“ Informationen zu erhalten. So könnte es Fehler geben, zu denen der Anwender der vorbeugenden QM-Technik keine Antwort geben kann oder will.

Weiter ist eine Konzentration auf die zentralen Inhalte, welche als wichtig erachtet werden, anzustreben. So kann beispielsweise die Erzeugung eines robusten Designs nur durch ein Höchstmaß an Übernahme von bewährten Produkten und Konzepten erfolgen. Die Auswertung der vorliegenden Entwicklungsergebnisse in interdisziplinären Teams ist hierbei ebenso notwendig, wie deren Entwicklungsdokumentation.

Ein wesentlicher Bestandteil bei der Sammlung von Erfahrungen und Kenntnissen zur Informationsbeschaffung entwicklungspezifischer Entscheidungen muss die Übernahme bewährter Konzepte sein. Lerneffekte sollten aufgrund einer intensiven Auseinandersetzung mit den Informationen eine nachhaltige Erfahrungssicherung im Unternehmen fördern. Daher leitet sich die Frage nach dem geeigneten Antwortformat aus der Entscheidungsfindung der gewünschten Randbedingungen ab.

Eine gezielte, wirksame und nachhaltige Anwendung der Methode zum Aufdecken von potentiellen Fehlern in der Konstruktion bedingt eine hohe Adaptionfähigkeit an alle Komplexitätsumfänge der Entwicklung. Damit trägt die vorbeugende QM-Technik bei der Entscheidungsfindung maßgeblich dazu bei, ob und in welchem Umfang ein Bauteil oder gar eine Baugruppe neu entwickelt oder in einigen Teilen „nur“ weiterentwickelt wird. Auch hat die Komplexität erhebliche Einflüsse auf ihren Schulungsbedarf und auf die Akzeptanz des Anwenders, welcher einen geringen Implementierungs- und Zielerreichungsaufwand fordert.

Eine weitere Anforderung für die Entwicklung einer neuen QM-Technik ist die Bildung einer Vorgehensweise, welche eine bereichsübergreifende Anwendung aus der Phase der Konstruktion in die Fertigung und Montage zulassen und positiv beeinflussen. Nur so kann dem Defizit einer ungenügenden Abstimmung zwischen Konstruktion und Montage wirksam begegnet werden. Eine übersichtliche Darstellung und selbsterklärende Beschreibung der Schwerpunkte verhindert aufwendige und kostenintensive Schulungsmaßnahmen.

Mit dem Anspruch auf eine ganzheitliche Betrachtungsweise, die sowohl die Schnittstellen zwischen Bauteilen und Baugruppen, aber auch zwischen Unternehmensbereichen ansprechen, müssen Handlungsweisen entwickelt werden, welche die Defizite der FMEA, QFD und DRBFM umgehen bzw. eliminieren.

5 Entwicklung einer neuen vorbeugenden QM-Technik

Eine vorbeugende QM-Technik muss bereits während der verschiedenen Reifegrade des Produktentstehungsprozesses Fehlerursachen und -folgen frühzeitig erkennen und geeignete Gegenmaßnahmen ergreifen. Damit handelt es sich um eine kritische Entwurfsprüfung, die das Auffinden von Fehlermöglichkeiten und Unzulänglichkeiten absichert. Darüber hinaus muss das Bündeln von Erfahrungen aller am Entwicklungsprozess Beteiligten und deren Dokumentation garantiert werden können.

Untersuchungen aus Kapitel 4 haben ergeben, dass die Errichtung eines Null-Fehlerkonzeptes nur dann gegeben ist, wenn alle Anforderungen zur Fehlervermeidung erfüllt werden. Dazu gilt es, bestimmte Rahmenbedingungen zu schaffen. Um den wachsenden Ansprüchen an die Verwendung von vorbeugenden QM-Techniken in der Produktentstehung gerecht zu werden, empfiehlt es sich, eine Methodik zu entwickeln, die schnell und aufwandsarm einsetzbar ist.

Eine Methode zur Erzielung von Null-Fehlerqualität an Bauteilen der mechanischen Fertigung ist die Erstellung einer Checkliste in Form eines Fragenkataloges.

Der Fragenkatalog soll Fehlerursachen vermeiden. Er wird vorrangig vom Entwickler angewendet und in Zusammenarbeit mit den an der Produktentstehung beteiligten Bereichen (Fertigung, Montage) befüllt. Es wird ein teamorientierter Problemlösungsprozess angestrebt, welcher sowohl als Standardmethode fungiert als auch eine standardisierte Berichtsform aufweist. Innerhalb der Anwendung des Fragenkataloges ist der Fortschritt des jeweiligen Projektes zu dokumentieren. Die Befüllung des Fragenkataloges basiert auf drei inhaltlichen Kernpunkten:

- Die Sammlung entwicklungsspezifischer Ergebnisse und Informationen dient der Problembeschreibung, Entscheidungsfindung und Planung von Maßnahmen zur Ursachenbeseitigung.
- Ziel des Fragenkataloges ist die Vermeidung von Fehlern und deren Ursachen, nicht die Untersuchung der Auswirkungen von Fehlern.
- Eine Wirksamkeitsprüfung stellt einen Abgleich zwischen Ursachenbeseitigung und Ursachenermittlung her. Dies wird durch eine Maßnahmenabfrage zur vorbeugenden Fehlervermeidung erreicht.

Ein systematisch und gezielt aufgestellter Fragenkatalog mit den Kernpunkten einer fehlerfreien Produktentwicklung und -konstruktion muss auch die Konzipierung eines

Produktes mit dem Ziel einer fehlerfreien Fertigung und Montage unterstützen. Dies soll durch die inhaltliche Integration der Schwerpunkte zur Produktentstehung Konstruktion, Fertigung und Montage erreicht werden (Abb. 26).

5.1 Aufbau und Systematik des Fragenkataloges

Als ein zentrales Vorbild für den Aufbau des Fragenkataloges dient die Checkliste. Grundsätzlich lassen sich Checklisten nach verschiedenen Zielsetzungen erstellen. Je nach Zweck, Einsatzbereich, Phase und Konkretisierungsstufe können derartige Listen zur qualitativen Absicherung von Entwicklungen herangezogen werden. Checklisten finden daher im Bereich der Komponenten- und Bauteilkonstruktion weit reichende Anwendung.

Ziel des Fragenkataloges ist es, einen ganzheitlichen Ansatz bzgl. der Fehlervermeidung innerhalb der Produktentstehung aufzusetzen. So kann beispielsweise der Fertigungsplaner die Überlegungen und Gedanken des Konstrukteurs aufgrund der Fragestellung, der dazugehörigen Antwort und den getroffenen Maßnahmen zur Fehlervermeidung nachvollziehen. Die Lösung etwaiger Schnittstellenprobleme zwischen benachbarten Bauteilen, aber auch strukturelle Problemstellen zwischen den einzelnen Unternehmensbereichen sollen hierbei zentraler Fokus sein.

Der Fragenkatalog besteht aus zwei zentralen Bereichen, der Stückliste und dem eigentlichen Fragenbereich. Zunächst erfolgt auf Basis einer **Stückliste** die Beschreibung der Produktstruktur in jeder Detaillierungsstufe und der Beziehungen zwischen einzelnen Bauteilsystemen und -strukturen. Es gilt, das Produkt in die Ebenen Baugruppen, Bauteile und ggf. deren Einzelteile zu untergliedern. Der Entwickler erhält einen umfassenden Überblick über sein Produkt.

Mit Hilfe der Stückliste wird die Struktur des Produktes, dessen einzelne Baugruppen und Bauteile für den Anwender, aber auch für „situationsunerfahrene“ Entwickler nachvollziehbar dargestellt. Darüber hinaus wird durch die vom Beantworter des Fragenkataloges zu erstellende Stückliste eine transparente Darstellung möglicher Schnittstellen und Wechselwirkungen geschaffen. Somit ist die Stückliste ein Hilfsmittel zur Identifizierung von Fehlerursachen in jeder Entwicklungsphase des Produktes. In diesem Zusammenhang sind folgende Fragestellungen zu beantworten:

- In welcher Stücklistenebene befindet sich die zu betrachtende Komponente?
- Welche weiteren Komponenten können die „Umgebung“, z. B. anliegende Bauteile, der betrachteten Komponente beeinflussen?
- In welchem Zusammenhang stehen die betrachteten Baugruppen / Bauteile zueinander?

Auch können durch die Erstellung einer Stückliste sämtliche Funktionalitäten, welche durch die Konstruktion abgedeckt werden, allen am Produktentstehungsprozess beteiligten Personen zugänglich gemacht werden.

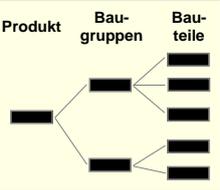
| Stückliste  | Beschreibung der Produktstruktur auf Basis einer Stückliste bzgl. ... - des Produktes - der Baugruppen - der Bauteile | | |
|--|--|----------------|--|
| Produktentstehung | Fragestellung | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
| Kap. 5.1.1.1 Fragestellungen für die Konstruktion | - Erstellung einer Anforderungsanalyse - Entwicklung von Produkten in interdisziplinären Teams - Verwendung bewährter Lösungskonzepte - Erfahrungssicherung innerhalb des Produktentstehungsprozesses - Wahl der Konstruktionsart - Konzentration auf die Vermeidung von Fehlern - Schnittstellen und Wechselwirkungen | ... | ... |
| Kap. 5.1.1.2 Fragestellungen für die Fertigung | - Fertigungsfähigkeit des Produktes | ... | ... |
| Kap. 5.1.1.3 Fragestellungen für die Montage | - Montagefähigkeit des Produktes | ... | ... |

Abb. 26: Aufbau des Fragenkataloges

Der zweite Bereich des Fragenkataloges beinhaltet die Tabellenspalten Produktentstehung, Fragestellung, Antwort und Maßnahmen zur Fehlervermeidung. Ziel des **Fragenbereiches** ist die Vermeidung von Fehlerursachen. Der Fragenbereich ist unterteilt in:

- Fragestellungen für die Konstruktion,
- Fragestellungen für die Fertigung und
- Fragestellungen für die Montage.

Diese sollen im folgenden Kapitel näher untersucht werden.

5.1.1 Fragestellungen für die Produktentstehungsphasen Konstruktion, Fertigung und Montage

In Kapitel 4 wurden Anforderungen an eine neue vorbeugende QM-Technik definiert. Diese bilden das Grundgerüst für die Erzielung von Null-Fehlern. Die gesamtheitliche Betrachtung von Konstruktion, Fertigung, Montage und deren funktionalen Zusammenhänge spielt hierbei eine entscheidende Rolle.

Für den Anwender des Fragenkataloges soll sofort ersichtlich sein, dass aufgrund der quantitativen Zuordnung der Fragestellungen ein Hauptaugenmerk auf die Konstruktionsphase des Produktes gelegt wird. Daher beinhalten die Fragestellungen zur Konstruktion entwicklungspezifische Schwerpunkte, die eine Vermeidung von Fehlerursachen ermöglichen. Die Produktentstehungsphasen Konstruktion, Fertigung und Montage werden den Unterkapiteln 5.1.1.1 bis 5.1.1.3 zugeordnet.

Kapitel 5.1.1.1: Fragestellungen für die Konstruktion

Entwicklungsspezifische Schwerpunkte

- Erstellung einer Anforderungsanalyse
- Entwicklung von Produkten in interdisziplinären Teams
- Verwendung bewährter Lösungskonzepte
- Erfahrungssicherung innerhalb des Produktentwicklungsprozesses
- Wahl der Konstruktionsart
- Konzentration auf die Vermeidung von Fehlern
- Schnittstellen und Wechselwirkungen

Kapitel 5.1.1.2: Fragestellungen für die Fertigung

Kapitel 5.1.1.3: Fragestellungen für die Montage

5.1.1.1 Fragestellungen für die Konstruktion

Die Fragestellungen für die Konstruktion beinhalten entwicklungspezifische Schwerpunkte, die eine Erzielung eines Null-Fehlerkonzeptes ermöglichen. Dazu soll mit Hilfe der folgenden Tabelle dem Anwender ein Überblick zum Fragenkatalog gegeben werden.

| Produkt-entstehung | Fragestellung | | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|--------------------------------------|---|--|---------|---|
| Fragestellungen für die Konstruktion | Anforderungsanalyse | Welche Schlussfolgerungen ergeben sich bei der Erstellung einer Anforderungsanalyse für das neue Produkt? Welche mit den am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereichen (Fertigung, Logistik, Lieferanten, etc.) sind mit involviert? Wie gestaltet sich die Teamzusammenstellung? | | |
| | | Was ergibt eine Systemanalyse des Vorgängers (Innovationsgrad des Vorgängers) oder Wettbewerbers? Wie sieht dazu eine Stärken-Schwächen-Analyse aus? | | |
| | | Welche Alleinstellungsmerkmale des Produktes, die eine präventive Absicherung bzgl. potentieller Fehler verlangen, gibt es? | | |
| | Entwicklung von Produkten in interdisziplinären Teams | In welcher Form finden Teamgespräche mit allen am Entwicklungsprozess beteiligten Bereichen statt? Wie setzen sich diese interdisziplinären Teams zusammen? | | |
| | Verwendung bewährter Lösungskonzepte | Wie wird bei der Entwicklung auf eine Wiederverwendung möglichst vieler bewährter Produktentwicklungen und Konzepte geachtet? Wo treten ähnliche Lösungen auf? | | |
| | | Wie konnte die Beherrschung der Technologie bereits unter Serienbedingungen nachgewiesen werden? Welche Lösungsalternativen gibt es, die eine Vermeidung von Fehlern ermöglichen? | | |
| | | Wie werden die Produktinnovationen auf mögliche potentielle Fehler untersucht? Wie werden diese mit vorbeugenden Maßnahmen versehen? | | |
| | | Wie ist eine Übernahme existierender Lösungen geplant? Was ergibt die dazu durchgeführte Variantenanalyse? Welche Varianten gibt es? | | |

weiter siehe S. 65

| Produkt-ent-stehung | Fragestellung | | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|--|--|---|---------|---|
| Fragestellungen für die Konstruktion | Erfahrungssicherung innerhalb des Produktentstehungsprozesses | Inwieweit werden Erfahrungen zur Reduzierung entwicklungs- und planungsbegleitender Fehler eingesetzt (Erfahrungssicherung)? Wo finden Rückmeldungen aus Produkterfahrungen des Vorgängers Berücksichtigung? Wie erfolgt eine Erfahrungssicherung? | | |
| | | Wie kann trotz Innovation die Funktionalität abgesichert werden? Wo sind Auswirkungen der Innovation(en), wie z. B. mangelnde Erfahrungen, auf die Produktherstellung möglich? | | |
| | | Wie werden redundante Lösungen zur präventiven Absicherung vorgehalten? | | |
| | | Wie wird eine Integration von Produktüberlegungen zur Erreichung der Null-Fehlerqualität bereits in der frühen Entwicklungsphase zur sofortigen Fehlerrückmeldung vorgenommen (Poka Yoke)? | | |
| | | Wie werden Untersuchungen zu möglichen äußeren Einflüssen (EMV, gesetzliche Anforderungen, etc.) durchgeführt? Welche Qualitätstechniken, z. B. Fischgrätendiagramm, werden dazu verwendet? | | |
| | Wahl der Konstruktionsart | Welche Synergieeffekte sind innerhalb der Konstruktion geplant? Aufgrund welcher Prämissen wird eine Konzeptauswahl (auch hinsichtlich Neuentwicklung, Weiterentwicklung, Übernahme) durchgeführt? Wie erfolgt eine Gegenüberstellung der möglichen Alternativen? Welche robusten Alternativlösungen sind vorgesehen? Wie hoch ist der Anteil der Standardisierung? | | |
| Konzentration auf die Vermeidung von Fehlern | Wie wird sichergestellt, dass ein Großteil der Entwicklungskapazität in die kritischen Aspekte des Produktes fließt? Wie gestaltete sich dies? | | | |

weiter siehe S. 66

| Produkt-ent-stehung | Fragestellung | | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|---------------------|----------------------------------|---|---------|---|
| | Schnittstellen, Wechselwirkungen | Welche Wechselwirkungen (mechanisch, geometrisch, elektr(on)isch) sind zwischen den angrenzenden Komponenten und Systemen mit dem Ziel der Funktion des Gesamtsystems bekannt? Wie wird sichergestellt, dass alle betroffenen Systemschnittstellen berücksichtigt werden? | | |
| | | Welche evtl. Auswirkungen auf weitere Funktionen sind zu befürchten? Wie werden mögliche Fehler bereits in der frühen Entwicklungsphase des Produktes abgesichert? | | |

Tab. 7: Fragestellungen für die Konstruktion

Ziel der Fragestellungen ist es, vom Anwender des Fragenkataloges eine Beschreibung der Fehlerursachen zu erhalten. Dazu ist es notwendig, dass eine Beschreibung der Vermeidung von Fehlern und deren Ursachen erfolgt. Diese Beschreibung erfolgt mit Hilfe entwicklungsspezifischer Schwerpunkte, die im Nachgang näher erläutert werden.

Erstellung einer Anforderungsanalyse

Zu Beginn eines neuen Projektes wird der Entwickler mit einer umfangreichen Anforderungsanalyse konfrontiert. Unter einer Anforderung wird die knappe und präzise Formulierung eines gewünschten Sachverhaltes in der Sprache des Konstrukteurs verstanden [LIN 2005].

Die Wahl der Anforderungen hängt maßgeblich von den Zielsetzungen der Entwicklung ab. Beispielsweise kann eine Stärken-Schwächen-Analyse in Verbindung mit einer Systemanalyse mögliche Fehler frühzeitig vermeiden.

In der industriellen Praxis steht bei der Erstellung von Anforderungen die Analyse der Entwicklungsaufgabe im Vordergrund. Als übliche Aufgabenformulierung verfasst der Entwickler ein Lastenheft, das die Entwicklungsaufgabe beschreibt. Aus dem Lastenheft werden Teilaufgaben extrahiert, welche durch Anforderungen mit den einzuhaltenden Randbedingungen und Restriktionen der Vorgaben beschrieben werden. Eine denkbare Unterteilung kann in funktionale, geometrische (im Sinne der Ästhetik) und auf den Prozess bezogene Anforderungen hinsichtlich Fertigungsfähigkeit, Montagefähigkeit, Wartbarkeit, Recyclebarkeit usw. sein.

Entwicklungsanforderungen können mit Hilfe bestimmter Kriterien strukturiert und gewichtet werden. Die Wahl der Schwerpunkte hängt maßgeblich von den Zielsetzungen der Entwicklung ab. Es gilt, Anforderungen lösungsneutral, klar und eindeutig zu formulieren. So kann eine Klassifizierung nach organisatorischen oder technisch-wirtschaftlichen Aspekten erfolgen (Abb. 27).

Aspekte der technisch-wirtschaftlichen Anforderungen können wiederum in funktionale und rein technische untergliedert werden. Während die funktionalen Anforderungen die fachliche Beschreibung des Produktes oder einiger Komponenten vertreten, beinhalten die technischen Anforderungen vor allem die Rahmenbedingungen. Beispiele hierfür sind die Umsetzbarkeit, Erweiterbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Modifizierbarkeit, Testbarkeit, Kompatibilität oder Anpassungsfähigkeit einer Entwicklung.

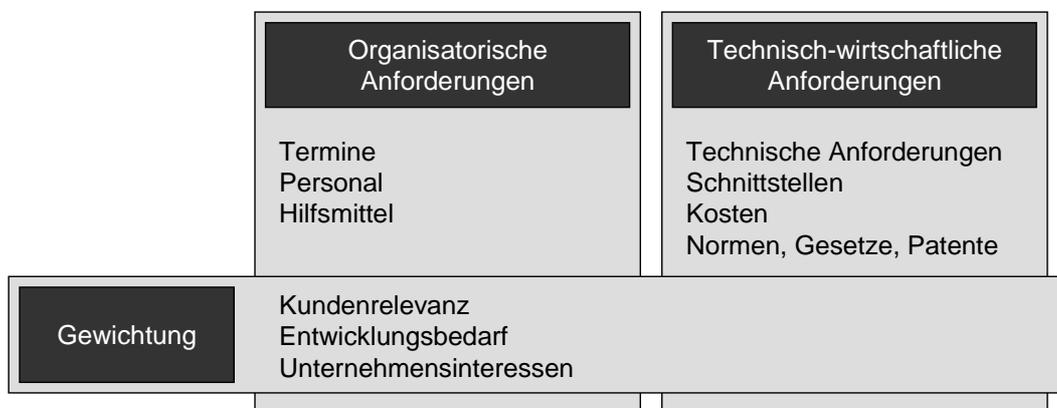


Abb. 27: Kriterien zur Strukturierung / Gewichtung von Anforderungen [LIN 2005]

Aber auch eine Unterteilung nach Herkunft oder einzelnen Lebensphasen des Produktes sind denkbar. Neben Anforderungen von Kunden (Preis/Leistung), können Anforderungen auch aus Sicht der Öffentlichkeit, Gesetzgebung oder unternehmensinternen Bereichen kommen.

Grundsätzlich gilt, dass bei jeder Art der Anforderungsformulierung alle an der Produktentstehung beteiligten Bereiche (z. B. Entwicklung, Einkauf, Fertigung, Montage usw.) mit integriert werden. Hierbei sind die Hilfsmittel Trendforschung, Benchmarks usw. wesentliche Bestandteile zur Beschreibung der Anforderungsanalyse.

Ein wichtiger Aspekt bei der Erstellung einer Anforderungsanalyse ist die Identifizierung der Personen, von denen die Anforderungen angefragt werden. Dabei ist darauf zu achten, nachfolgende Anwender mit einzubeziehen, um alle Anforderungen praxisgerecht zu erfassen und damit ein verbessertes Verständnis hinsichtlich der zu entwickelnden Komponenten zu erreichen. Es gilt der Grundsatz einer vollständigen Anforderungsanalyse, aus welcher nachfolgende Design- und Konstruktionsschritte abgeleitet werden.

Des Weiteren beinhaltet die Erstellung einer Anforderungsanalyse die Systemanalyse der vorherigen Konstruktion. Im Erfahrungsaustausch mit den zuständigen Konstrukteuren, aber auch Fertigung und Montage, sind die Vorteile und Schwächen des jeweiligen Konzeptes zu diskutieren. Neben der Wahl des Materials und der Umsetzung besonders kritischer Konstruktionsausführungen ist die Höhe des Innovationsgrades von entscheidender Bedeutung. Hierbei ist die Fragestellung, warum sich gerade für dieses Konzept entschieden wurde, durchaus legitim.

Die Autoren Meindl [MEI 1999] und Blessing [BLE 1995] beschreiben im Rahmen der Produktentwicklung fünf Kernmerkmale (Person, Produkt, Prozess, Umgebung, Organisation), welche die wesentlichen Anforderungen wiedergeben. Diese Kernmerkmale werden durch die Parameter Komplexität, Varianten, Entwicklungszeit, Produktlaufzeit und Entwicklungskosten beeinflusst.

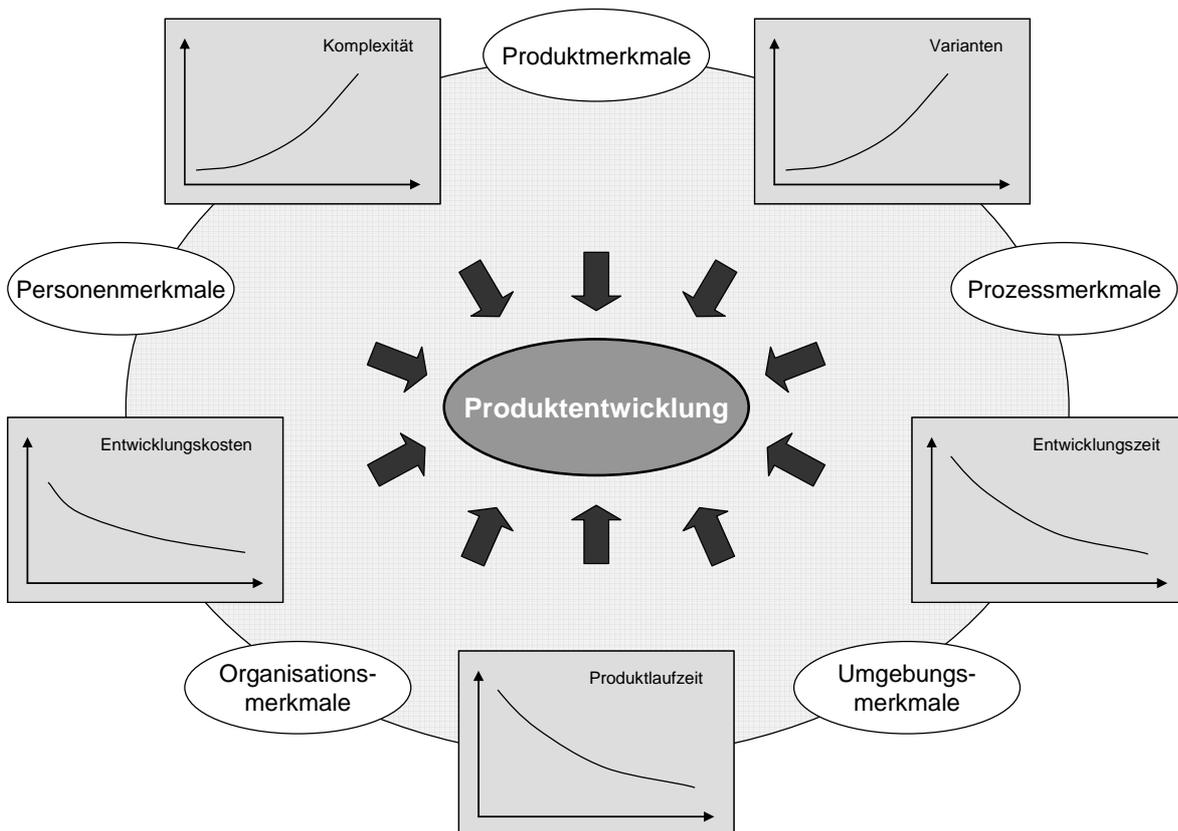


Abb. 28: Einflüsse auf die Produktentwicklung [in Anlehnung an MEI 1999; BLE 1995]

Die *Personenmerkmale* und deren Eigenheiten sind entscheidend für die Ausprägung der Konstruktion. Dabei steht der Mensch als kreativer Problemlöser im Mittelpunkt umgesetzter Produktentstehungsprozesse. So sollten ihn konstruktionsmethodische Vorgehensempfehlungen bei der Bewältigung seiner kognitiv hoch anspruchsvollen Aufgaben unterstützen.

Der größte Umfang an *Produktmerkmalen* wird in den frühen Phasen der Produktentwicklung definiert, was aufgrund des noch hohen Abstraktionsgrades und der unsicheren Informationsbasis ein hohes Qualitätsrisiko nach sich zieht. Zur Minimierung dieses Risikos ist eine nachvollziehbare und reproduzierbare Vorgehensweise in Form einer Anforderungserstellung unabdingbar. Hierbei müssen möglichst viele der Produktdefinition zugrunde liegenden Annahmen und Entscheidungen offen gelegt und für nachfolgende Phasen der Produktentstehung verfügbar sein. Auch die Nutzung von Wissen und Erfahrungen aus vergangenen Entwicklungsprojekten hat direkten Einfluss auf die Qualität der Anforderungsanalyse.

Die Beschreibung der Anforderungen an die Produktentwicklung beinhaltet eine Vielzahl von Einflussfaktoren, so auch die der *Prozessmerkmale*. Demnach kann die Bestimmung diverser Plan- und Kontrollkennzahlen (Fertigungs- und Montagekosten, Mitarbeiterproduktivität, Qualität) aus den globalen Zielen eines Unternehmens erstellt werden.

Umgebungs- (Standort der Lieferanten) *und Organisationsmerkmale* (Projektorganisation) können ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf die Produktentstehung haben. Diese sind innerhalb der Analyse der Anforderungen zu berücksichtigen.

Entwicklung von Produkten in interdisziplinären Teams

Umfangreiche Aufgabenstellungen setzen ein strukturiertes Vorgehen in interdisziplinären Teams voraus. Daher wird im Fragenkatalog nach der Zusammensetzung von interdisziplinären Teams gebeten. Für eine effektive und effiziente Zusammenarbeit ist es wichtig, eine gemeinsame Wissensbasis in Bezug auf das zu lösende Problem zu erarbeiten. Oberste Zielsetzung sollte es sein, ein einheitliches Verständnis bezüglich der Sichtweisen von Zielen, Methoden und Vorgehensweisen auszutauschen und die Bedeutung von Begriffen, Prozessen und Partnern zu klären.

Das Erstellen einer gemeinsamen Wissensbasis kann die Erzielung von Null-Fehlern innerhalb der Produktentwicklung und -produktion ermöglichen. Laut VDA [VDA (4) 2006] treten in diesem Zusammenhang zahlreiche denkbare Probleme in Form von:

- nicht eindeutig festgelegten Verantwortlichkeiten,
- unvollständig oder fehlerhaften Spezifikationen,
- Kommunikationsproblemen zwischen Kunden und Lieferanten, Entwicklung und Fertigung und
- Verfügbarkeitsproblemen der Beteiligten auf.

Der Entwicklungsprozess ist geprägt von zahlreichen Einflüssen, die aufgrund von Änderungen im Umfeld erhebliche Auswirkungen auf die qualitative Ausführung von Produkten haben. Bedingt durch die steigende Komplexität heutiger Produkte wächst die Zahl der Anforderungen. Diese sind durch die Notwendigkeit nach der Integration von Funktionen und der zunehmenden Vernetzung aller an der Produktentstehung beteiligten Bereiche geprägt.

Neben der Forderung nach kundenindividuellen Produkten, die zu einer Vielzahl von Produkt- und Prozessvarianten führen, kommt die Verkürzung von Produktlebenszyklen und eine gesteigerte Innovationsgeschwindigkeit innerhalb der Produktentstehung. Dies fordert das Arbeiten in interdisziplinären Teams mit einem möglichst hohen Grad an sequentieller Tätigkeit.

Der Informationsaustausch zwischen Personen, insbesondere wenn dabei große hierarchische oder räumliche Distanzen zu überwinden sind, ist ein kritischer Faktor für den Erfolg einer vorbeugenden QM-Technik. Daher ist die Entwicklung von Produkten in interdisziplinären Teams als wesentlich anzusehen. Weitere zentrale Probleme ergeben sich möglicherweise aus einer unklaren Aufgabenstellung und ihrer dynamischen Veränderung über die Projektlaufzeit sowie aus Kapazitätsengpässen.

Verwendung bewährter Lösungskonzepte

Die Verwendung bewährter Lösungskonzepte kann entscheidend zur Verbesserung der Produktqualität beitragen. Eine Suche nach bestehenden oder ähnlichen Lösungen für eine spezifische konstruktive Aufgabenstellung muss dazu führen, dass bewährte Lösungskonzepte übernommen werden. Es gilt herauszufinden, wo die Verantwortung für Varianten zu finden ist und was eine Variante im Zieldesign leisten kann. Daher sollte zwingend auf eine Vermeidung unnötiger Varianten geachtet werden. Der Entwickler muss entscheiden, ob eine Variante die Fähigkeit hat, eine besondere Rolle innerhalb der Produktentwicklung zu übernehmen oder nicht.

Je größer die Zahl der zu betreuenden Varianten ist, desto höher fällt der dazu notwendige Aufwand aus, um fehlerfreie Produkte zu fertigen. Ziel des Fragenkataloges ist es, Maßnahmen zu treffen, die von vornherein eine verstärkte Bildung der Variantenzahl kontrollieren bzw. eindämmen.

Die Reduzierung der Teilevielfalt auf ein Minimum ist eine Forderung, die in produzierenden Betrieben eine erhebliche Rolle spielt. Die Idee einer möglichst rationellen Produktion zielt zum einen auf eine Standardisierung der Einzelteile und Baugruppen und zum anderen auf eine Standardisierung der Fertigungsabläufe ab. Dazu müssen die

Teilefamilien nach geometrischen, funktionalen oder fertigungsbezogenen Merkmalen klassifiziert werden [BAR 1995].

Nach Piller [PIL 1998] hat die Modularisierung in den sechziger Jahren die rasanten Entwicklungen der Computerindustrie erst ermöglicht. Dabei wurden Computer in Subsysteme (Komponenten) aufgespaltet, welche Entwicklern, Herstellern und Benutzern zu großer Flexibilität verhelfen.

Der Entwickler sollte sich stets der Folgen einer unnötigen Variantenbildung bewusst sein. Mit zunehmender Variantenzahl steigt im Bereich Forschung und Entwicklung der Entwicklungs- und Verwaltungsaufwand und verhindert die Koordination und Priorisierung von Projekten. Innerhalb der Produktion werden kleinere Losgrößen gefertigt was wiederum größere Rüstzeitenanteile hervorruft. Lieferanten sind gezwungen, sich aufgrund der gestiegenen Arbeitsteilung zunehmend auf eine Spezialisierung der Wertschöpfungsmitglieder einzustellen. Dadurch nimmt die zur Beherrschung der Produktkomplexität notwendige Prozessanzahl zu. Jedoch verursacht eine steigende Prozessvielfalt neben erhöhten Prozess- und Koordinationskosten die Zahl der Qualitätsprobleme. Damit wird die Möglichkeit, eine Vermeidung von Fehlerursachen umzusetzen, nachhaltig erschwert.

Durch eine gezielte Variantenanalyse mit anschließender Integration in bestehende Modularisierungskonzepte kann einer stetig steigenden Variantenzahl entgegengewirkt werden. Bei diesem Vorgehen sind die Bedürfnisse des Kunden nicht außer Acht zu lassen. Ein konsequentes Variantenmanagement beginnt immer bei den Wertvorstellungen der Kunden. Stets sollte der Fokus auf die zu realisierenden Standardisierungen mit dem Ziel der Komplexitätsreduzierung gelegt werden, um Fehler erst gar nicht aufkommen zu lassen. Produktfunktionen, auf die der Kunde keinen oder nur geringen Wert legt, müssen zu Beginn der Variantendefinition vermieden werden.

Die Verwendung bewährter Lösungskonzepte kann durch die Gestaltung von Produktfamilien, z. B. Baureihen, Baukasten, Modulbauweisen oder auch Plattformen realisiert werden.

Baureihen sind technische Gebilde (Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile), die dieselbe Funktion mit der gleichen Lösung in mehreren Größenstufen bei möglichst gleicher Fertigung in einem weiten Anwendungsbereich erfüllen [PAH 1997]. Die Abstufung der Varianten in geometrische Größen üben gleichzeitig einen direkten Einfluss auf die Leistungsmerkmale des Systems aus.

Muttern und Schrauben, die zu den normierten Maschinenelementen gehören, sind klassische Beispiele für Baureihen in der Maschinenindustrie. Sowohl in der Entwicklung als auch in der Arbeitsvorbereitung und Fertigung verhelfen die kumulierten Erfahrungen

zur Zeit- und Kostensenkung. Das wird durch die Verwendung von Standardbaugruppen begünstigt, die gleichzeitig zu einer Steigerung der Qualität führen [EHR 2000].

Unter *Baukasten* versteht man Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile, die als Bausteine mit oft unterschiedlichen Lösungen durch deren Kombination verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen [PAH 1997].

Der wesentliche Unterschied zwischen Baukasten und anderen Produktarchitekturen besteht in der Austauschbarkeit von Komponenten (auch Bausteine genannt). Eines der gängigsten Motive für die Anwendung von Baukastenprodukten ist die Möglichkeit, die äußere Variantenvielfalt mit einer begrenzten Anzahl an Komponenten (innere Vielfalt) realisieren zu können. Darüber hinaus entfallen durch die vordefinierten, sich in vielen Fällen bewährten Bausteine fehlerhafte Entwicklungen. Dies wirkt sich auf die Durchlaufzeiten, die Kosten und die Qualität des Produktes positiv aus.

Die Vorteile der *Modulbauweise* lassen sich insbesondere dann erschließen, wenn die verschiedenen Module und ihre Schnittstellen standardisiert, also unternehmensintern oder gar unternehmensübergreifend vereinheitlicht werden.

Die Verwendung modularer Komponenten fördert die Stabilität eines Systems, da die Wahrscheinlichkeit von Änderungen reduziert wird [GÖP 1998]. Daraus ergibt sich eine verbesserte Kontrollierbarkeit der Konstruktion auf unerwünschte Änderungen. Eine geringe Änderungshäufigkeit hat großen Einfluss auf die Gestaltung des Produktionsprozesses eines Produktes. So kann die Veränderung einer Komponente im Entwicklungsprozess durch eine Funktionsprüfung abgesichert werden.

Durch die Wiederverwendung standardisierter Komponenten wird die Zahl der zu entwickelnden Komponenten deutlich verringert. Gerade die Wiederverwendung bestehender Komponenten stellt einen immensen Zeit- und Qualitätsgewinn dar, da diese Teile ihre Funktionalität und Haltbarkeit bereits in der Praxis unter Beweis gestellt haben. Weiterhin liegen für die Fertigung der Teile alle notwendigen Informationen vor und müssen nicht mehr aufwendig erarbeitet werden. Diese Vorgehensweise ist nicht nur wünschenswert im Hinblick auf zeitliche und qualitative Vorteile, sondern stellt eine unabdingbare Notwendigkeit dar.

In den letzten Jahren sind *Produktplattformen* als Lösungsansatz zur Wiederverwendung von Baugruppen bekannt geworden. Als Beispiel sei hier die Bodenbaugruppe in der Automobilindustrie erwähnt. Darüber hinaus hat die Plattform eine strategische Bedeutung erlangt.

Die Verwendung bewährter Lösungskonzepte steigert die Effektivität der Produktentwicklung erheblich. Der Sachverhalt resultiert in der Forderung, den Fragenkatalog derart zu gestalten, dass die Konstruktion vorwiegend durch die Verwendung von standardisierten Baugruppen und Einzelteilen erfolgt.

Erfahrungssicherung innerhalb des Produktentstehungsprozesses

Die Erfahrungssicherung innerhalb des Produktentstehungsprozesses schafft die Möglichkeit, aus den begangenen Fehlern zu lernen, sowie über die Optimierung der Prozesse und Verbesserungsmöglichkeiten nachzudenken. Der Nutzen liegt in der Erhöhung der Effizienz bei der Entwicklung neuer Ideen. So ist die Fragestellung nach möglichen Rückmeldungen aus Produkterfahrungen des Vorgängers ein wesentlicher Bestandteil zur Vermeidung von Fehlerursachen.

Die Erfahrungssicherung ist ein wichtiger Baustein in der Anwendung vorbeugender QM-Techniken und kann zahlreiche Aspekte beinhalten. So kann die Größe der Einflussparameter der Erfahrungssicherung auf die Produktqualität unterschiedlich starken Einfluss haben. Mit Hilfe der folgenden Tabelle werden dazu unterschiedliche Zielsetzungen und Fragestellungen diskutiert.

| Einflussparameter | Zielsetzungen | Fragestellungen |
|-----------------------------|---|---|
| Zielerreichung | Analyse der Ursachen für die Abweichung der Zielerreichung | Welche Korrekturmaßnahmen wurden ergriffen, mit welcher Wirkung? |
| Termineinhaltung | Analyse der Ursachen für die Terminabweichung | Welche Korrekturmaßnahmen wurden mit welcher Wirkung ergriffen? |
| Personaleinsatz | Vorhandensein aller am Entwicklungsprozess beteiligten Personen | Wo lagen Schwachstellen in der Verfügbarkeit, Qualifikation, Kompetenzen, Motivation der Mitarbeiter? |
| Qualität der Zusammenarbeit | Austausch und Weitergabe von Erfahrungen | Wie hat die Kommunikation innerhalb des Teams geklappt? Welche Konflikte traten auf, wie wurden diese gelöst? |
| Budgeteinhaltung | Einhaltung von Budgets und Arbeitskräften | Was war der Grund für die Budgetabweichung? |
| Methoden und Tools | Verwendung bewährter Entwicklungsmethoden unter Einbeziehung neuester Verfahren | Wurden vorhandene Methoden und Tools eingesetzt? Wenn ja, mit welchem Erfolg geschah dies? |

Tab. 8: Einflussparameter der Erfahrungssicherung auf die Produktqualität

Die Erfahrungssicherung umfasst die Ableitung von projekt- und produktrelevanten Erfahrungsdaten, die in Kennzahlen, Kennzahlensysteme oder Erfahrungsdatenbanken einfließen. Auch kann sie zum besseren Abschätzen bereits getroffener Aufwände für zukünftige Projektplanungen verwendet werden.

Des Weiteren können die einzelnen Resultate und Ziele auf sehr unterschiedlichen Ebenen analysiert werden, wie Projektdesign, Prozessabläufe oder Nachhaltigkeit in technischer, finanzieller und sozialer Hinsicht.

Es empfiehlt sich, über die genannten Maßnahmen der Erfahrungssicherung hinaus, einen vereinbarten Rhythmus zum Erfahrungsaustausch unter den Projektleitern zu organisieren. Dieser kann unterstützt werden durch ein webbasiertes Forum, in dem zeitnah über allgemein relevante Erfahrungen berichtet und diskutiert wird. Die gesammelten Erkenntnisse aus allen Erfahrungssicherungs- und Austauschaktivitäten sind systematisch auszuwerten und ggf. in den Fragenkatalog zu integrieren.

Wahl der Konstruktionsart

Die Produktentstehung wird innerhalb des Fragenkataloges in die Konstruktionsarten Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme unterteilt. Ziel der Klassifizierung ist es, mögliche Fehler innerhalb der unterschiedlichen Konstruktionsarten aufzudecken und im Nachgang zu eliminieren.

Eine Untergliederung der Konstruktionsarten kann durch die Beschreibung der Produktentstehungsphasen erreicht werden. Diese beziehen sich auf die Bereiche Konstruktion, Fertigung und Montage.

Ein hohes Risikopotential verbunden mit geringen oder keinen Erfahrungswerten sind typische Kennzeichen bei der *Neuentwicklung* von Produkten. Je größer der Umfang an bewährten Bauteilen und Konzepten ausfällt, desto weniger Fehler treten innerhalb des Produktes auf.

Bei der Neuentwicklung von Produkten kann auf keine „Feld-Rückmeldungen“ in Form von Machbarkeiten, Zuverlässigkeitsprognosen, Wechselwirkungen zwischen benachbarten Systemen oder Komponenten (z. B. elektromagnetische Verträglichkeiten) zurückgegriffen werden. Ein Erfahrungsaustausch mit allen betroffenen Bereichen, wie Fertigung, Montage usw. ist unerlässlich.

Ein Großteil heutiger Entwicklungen findet auf dem Gebiet der *Weiterentwicklung* statt. Dies wird durch die stetig steigende Variantenvielfalt in unterschiedlichen Branchen begründet [PLA 2005].

Die *Übernahme* von fehlerfreien Bauteilen oder Konzepten im Sinne eines Null-Fehler-Konzeptes sollte der Antrieb eines jeden Konstrukteurs sein. Es ist darauf zu achten, dass bei Veränderung der konstruktiven Umgebungsparameter (Schnittstellen, Verträglichkeiten usw.) neue Untersuchungen und Absicherungen notwendig sind.

Konzentration auf die Vermeidung von Fehlern

Eine grundlegende Konzentration auf die Vermeidung von Fehlern stellt sicher, dass ein Großteil der Entwicklungskapazität in die kritischen Aspekte des Produktes fließt. Wird eine Idee für ein neues Produkt aufgegriffen und an eine Entwicklungsabteilung weitergereicht, beginnt die intensive Beschäftigung mit der systematischen Abarbeitung der einzelnen Entwicklungsschritte.

Die gezielte Konzentration auf kritische Aspekte innerhalb der Produktentwicklung kann durch eine Verwendung von vorbeugenden QM-Techniken erreicht werden. Dies erfolgt in Zusammenarbeit mit allen am Entwicklungsprozess beteiligten Bereichen. So können sämtliche Entwicklungsschwerpunkte in Form einer Excel-Tabelle dokumentiert und im Anschluss strukturiert, bewertet und ausgewählt werden.

Weiterhin führt die Konzentration auf die Vermeidung von Fehlern in jeder Konstruktionsart zu einer effektiven Umsetzung bei gleichzeitiger Überprüfung und Freigabe der Ergebnisse. Ein Beispiel dafür ist die Gestaltung der Produktarchitektur. Die Hauptaufgabe des Entwicklers besteht darin, geforderte Funktionen unter Berücksichtigung einschränkender Bedingungen in ein Produkt umzusetzen. Hierbei sollte die geforderte Gesamtaufgabe in einzelne Teilbereiche untergliedert werden, um eine Aufteilung der Gesamtkomplexität zu erreichen.

Durch eine Zerlegung der Gesamtaufgabe wird die Zielsetzung der Entwicklungsaufgabe präzisiert. Auch besteht die Möglichkeit des Erkennens von bereits getroffenen Lösungen durch Erfahrungen. In jedem Fall ist auf die Anwesenheit aller am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereiche und die frühe Einbeziehung notwendiger Lieferanten zu achten.

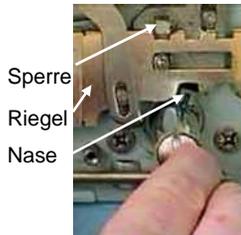
Schnittstellen und Wechselwirkungen

Die Überprüfung von Schnittstellen und Wechselwirkungen zu anderen Systemen gehört bei der Durchführung des Fragenkataloges zu den wesentlichen Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlerursachen.

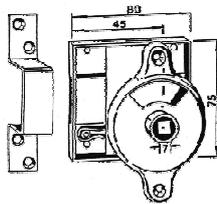
Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass eine Schnittstelle mindestens zwischen zwei benachbarten Systemen besteht. Voraussetzung für einen Fehler ist somit die „Kommunikation“, d. h. Wechselwirkung mindestens zweier Systeme. Derartige Systeme können in Form von physischen Elementen oder elektronischen Daten auftreten. Aber auch zwischenmenschliche Schnittstellen, wie Verantwortlichkeiten und Verfügbarkeiten zwischen Beteiligten, können in Betracht gezogen werden.

Im Fokus des Fragenkataloges stehen die Schnittstellen und Wechselwirkungen mechanischer oder geometrischer Herkunft. Diese werden mit Hilfe der folgenden Abbildung näher erläutert (Abb. 29). Zum besseren Verständnis wird zusätzlich ein Beispiel zur elektronischen Wechselwirkung genannt.

Schloss:



mechanische Wechselwirkung



geometrische Wechselwirkung

Diode:



elektronische Wechselwirkung

Abb. 29: Schnittstellen zwischen angrenzenden Bauteilen

Wechselwirkungen können gewünscht oder ungewünscht sein. So sorgt beispielsweise die mechanisch gewollte Wechselwirkung der Bauteile Sperr, Riegel und Nase für den eigentlichen Mechanismus eines Schlosses. Ist die Nase des Schließzylinders zu lang, so verursacht dies ein Klemmen des Schlosses.

Die Anbindung der Bauteile des Schlosses zueinander wird durch eine maßhaltige Gestaltung des Gehäuses erreicht und kann als geometrische Wechselwirkung verstanden werden. Zu große Toleranzen und ein Nichtbeachten schlüssiger Maßkettenberechnungen gefährden die Maßhaltigkeit und können zu Bauteilkollisionen führen.

Die Funktion einer Diode setzt den Stromfluss von Anode und Kathode voraus. Eine ungewünschte Wechselwirkung, wie die elektromagnetische Unverträglichkeit zweier Bauteile, könnte zum Ausfall der Diode führen.

Um gleiche Schnittstellen schaffen zu können, ist eine Standardisierung der beiden Systemhälften zwingend notwendig. Eine Standardisierung bewirkt ein breit verfügbares Lösungswissen durch das Offenlegen der Beziehungen der Bauteile zueinander. Damit lässt sich die Wiederverwendbarkeit, Austauschbarkeit, Erweiterbarkeit und Kombinier-

barkeit von Systemhälften erhöhen. Dadurch wird ein vollständiges Eliminieren eines möglichen Fehleraufkommens gewährleistet.

Kompatible Systemhälften fördern den Aufbau von modularen Komponenten und sind damit jederzeit austauschbar. Ebenso wird es möglich, anstelle einer Neugestaltung bestehender Systeme lediglich zu erweitern, indem neue Module hinzugefügt werden. Dadurch wird ein wesentlicher Beitrag zur Reduzierung von Varianten erreicht.

Die gezielte modulare Gestaltung von Schnittstellen trägt nicht nur zur Erreichung eines Null-Fehler-Konzeptes bei, sondern erlaubt auch das Zusammensetzen vorhandener Komponenten zu neuen. Durch deren Kombinierbarkeit kann eine hohe Anzahl von Produktvarianten hergestellt werden. In diesem Zusammenhang ist darüber nachzudenken, ob und in welcher Weise die Möglichkeit einer individuellen Produktgestaltung realisiert werden kann.

5.1.1.2 Fragestellungen für die Fertigung

Ziel der Fragestellungen für die Fertigung ist es, eine deutliche Verbesserung der Fertigungsqualität im Hinblick auf die Zielgrößen der Produktionsplanung und -steuerung, insbesondere der Durchlaufzeiten und Bestände zu ermöglichen. Daher befasst sich der Fragenkatalog schwerpunktmäßig mit fertigungsspezifischen Standardisierungen (Tab. 9).

| Produktentstehung | Fragestellung | | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---------|---|
| Fragestellungen für die Fertigung | Fertigungsfähigkeit des Produktes | Durch welche Maßnahmen wird die Produktqualität im Fertigungsprozess abgesichert? Wie kann dadurch eine fehlerfreie Fertigung des Produktes vor dem Hintergrund von Null-Fehlerqualität garantiert werden? Welche Maßnahmen wurden dazu getroffen, dass die Fertigungsfähigkeit des Produktes als prozesssicher angesehen werden kann? | | |
| | | Auf welche Weise können mehrere Bauteile an ein und derselben Maschine produziert werden? Wo wird dies durch ein Variantenreduzierungskonzept (z. B. Modulbauweise, Gleichteile, Baukasten, etc.) in der frühen Entwicklungsphase des Produktes berücksichtigt? Welche Erfahrungswerte gibt es in diesem Zusammenhang? | | |
| | | Wie hat sich der Wissensaustausch zwischen Produktentwicklung und Fertigung gestaltet? | | |
| | | Welche Cost-Down-Maßnahmen gibt es? Welchen Einfluss haben diese auf die Prozessfähigkeit der Produktentwicklung? Was ergibt die dazu durchgeführte Risikoanalyse? | | |

Tab. 9: Fragestellungen für die Fertigung

Aufgrund steigender Kundenforderungen und -wünsche können Änderungsmöglichkeiten bis kurz vor den Auslieferungszeitpunkt des Produktes vollzogen werden. Dies führt jedoch zu erhöhten Durchlaufzeiten. Insbesondere in den frühen Fertigungsschritten fällt ein vermeidbar hoher Aufwand für Änderungen an. Da aufgrund von schwierigen Marktsituationen diese nur zu einem geringen Teil dem Kunden in Rechnung gestellt werden können, ist es zwingend notwendig, prozesssichere Null-Fehlerstrategien frühzeitig umzusetzen. Für die Nutzung eines derartigen Null-Fehlerkonzeptes ist es von besonderer Notwendigkeit, Anreize in enger Zusammenarbeit mit fertigungsnahen Abteilungen zu schaffen. Auf diese Weise könnte die Bildung von Modulen schon innerhalb der Konstruktion initiiert werden.

Durch das gerichtete Zusammenwirken aller Unternehmensbereiche und die Mithilfe funktionierender Schnittstellen zwischen Bauteilen, aber auch zwischen Bereichsebenen (Konstruktion, Fertigung, Montage), kann die geforderte Produktqualität mit Null Fehlern erbracht werden. In der industriellen Praxis treten insbesondere an den Schnittstellen

oftmals Probleme auf. So kann beispielsweise bei Fehlteilen der Unternehmensbereich Fertigung nicht die benötigte Stückzahl zum gewünschten Zeitpunkt bzw. nicht mit dem anvisierten wirtschaftlichen Ergebnis erbringen. In diesen Fällen müssen solche Schwachstellen schnellstmöglich der betreffenden Organisationseinheit aufgezeigt werden. Hierzu sind die Defizite in den Ablauf der Produktentstehung schnellst möglich zu integrieren.

5.1.1.3 Fragestellungen für die Montage

Die Fragestellungen für die Montage bewirken eine Vermeidung von Montagefehlern (Tab. 10). Beispiele dazu sind Hilfsmittel für einzelne Montagetätigkeiten und die Kommissionierung sowie den Transport des Materials an die Arbeitsplätze. Durch eine Optimierung des logistischen Ablaufes können ebenfalls Fehler vermieden werden.

Innerhalb der Montage sind zahlreiche Randbedingungen, wie z. B. die Beeinflussbarkeit von benachbarten Bauteilen zu berücksichtigen. Dies führt zu der Notwendigkeit, die Montagefähigkeit des Produktes in den Produktentstehungsablauf so zu integrieren, um in kürzester Zeit qualitativ hochwertige Produkte bis zur Marktreife entwickeln zu können. Dadurch kann ein sicherer Serienanlauf garantiert werden. Auf Basis der Erkenntnisse der Konstruktionsmethodik muss auf die Optimierung des Erzeugnisses nicht nur unter funktionellen Sichtweisen, sondern speziell auch unter Montageaspekten eingegangen werden.

Traditionell ist der Produktentstehungsprozess durch die Trennung von Produktgestaltung und Montageplanung gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass die Montageplanung in der Regel erst nach Abschluss der Konstruktions- und Fertigungsphase Unterlagen aus der Konstruktions- bzw. Fertigungsabteilung erhält. Auf deren Basis kann die Montage des Produktes vorbereitet werden.

Entscheidender Nachteil der Trennung von Produktgestaltung und Montageplanung ist, dass nachträgliche, konstruktive Änderungen am Produkt häufig nur mit erheblichen Anpassungen umgesetzt werden können. In diesem Fall kann der Anspruch auf eine Realisierung von Null-Fehlerqualität nur schwer erfüllt werden.

| Produktentstehung | Fragestellung | | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|---------------------------------|--------------------------------|--|---------|---|
| Fragestellungen für die Montage | Montagefähigkeit des Produktes | Wie werden aufgrund von Erfahrungswerten mögliche Montageprobleme vermieden? Wie kann dadurch die Montagefähigkeit des Produktes sichergestellt werden? | | |
| | | Welche besonderen Hilfsmittel (Einbauhilfen) sind zur Montage notwendig? Wie wird dadurch eine Reduzierung von Fehlern erreicht? | | |
| | | Wie und in welchem Umfang wird der Montagepartner in die Montagefähigkeit des Produktes mit einbezogen? Wie gestalten sich die Verantwortungsbereiche? Welche dazu erforderlichen Schnittstellenpartner gibt es? | | |
| | | Wie wird durch Maßnahmen innerhalb des logistischen Ablaufes eine erhöhte Absicherung der Montierbarkeit erreicht? | | |

Tab. 10: Fragestellungen für die Montage

Durch Segmentierung des Montagemodells in einzelne Vorgänge und deren Reihenfolgebildung entsteht die sog. Montagestruktur. Sämtliche beschriebenen Aspekte sind bei der Erreichung einer Null-Fehlerqualität zu berücksichtigen und müssen stets mit den Anforderungen aus der Konstruktion abgeglichen werden.

Im Rahmen des Simultaneous Engineering stellt die Integration des Bereiches Montagefähigkeit in den Produktentstehungsablauf einen wesentlichen Meilenstein dar. Ziel ist eine zeitparallele Entwicklung von Produkt und Prozess um ein methodisches, konstruktives Zusammenwirken der beteiligten Fachabteilungen ermöglichen zu können. Hierbei ist eine enge Zusammenarbeit mit allen erforderlichen Schnittstellenpartnern notwendig.

5.1.2 Motivationspsychologischer Hintergrund des Fragenkataloges

Mit Hilfe des Fragenkataloges wird ein teamorientierter Problemlösungsprozess angestrebt, welcher sowohl als Standardmethode fungiert als auch eine standardisierte Berichtsform aufweist. Daher zeigt die Entwicklung des Fragenkataloges einen erheblichen motivations-psychologischen Hintergrund auf. Dieser kann durch drei wesentliche Punkte beschrieben werden:

- Aufbau eines inhaltlichen Spannungsbogens
- Wahl des offenen Antwortformates
- Maßnahmenabfrage zur Fehlervermeidung

Innerhalb der einzelnen entwicklungsspezifischen Schwerpunkte wird ein **inhaltlicher Spannungsbogen** in Form von weiteren aufeinander folgenden Fragestellungen zum gleichen Themenbereich aufgebaut, um die Qualität der Antworten zu erhöhen. Durch die zunehmende Präzisierung der Fragestellung kann ein Höchstmaß an Informationsgehalt der Antworten ermöglicht werden. Daneben wird eine intensive Auseinandersetzung des Entwicklers mit der vorliegenden Thematik angeregt.

Welche Synergieeffekte sind innerhalb der Konstruktion geplant? Aufgrund welcher Prämissen wird eine Konzeptauswahl (auch hinsichtlich Neuentwicklung, Weiterentwicklung, Übernahme) durchgeführt? Wie erfolgt eine Gegenüberstellung der möglichen Alternativen? Welche robusten Alternativlösungen sind vorgesehen? Wie hoch ist der Anteil der Standardisierung?

Abb. 30: Beispiel zum Aufbau eines inhaltlichen Spannungsbogens

Durch die **Wahl des offenen Antwortformates** wird sichergestellt, dass der Beantworter der Fragestellung sämtliche Erfahrungen und Kenntnisse der entsprechenden Thematik dokumentiert. Neben einer intensiven Auseinandersetzung mit Erfahrungswerten wird die Zielsetzung verfolgt, Wissen zu strukturieren, anzuwenden und zu überprüfen. Ein indirekt selbständiger Ehrgeiz zur Informationsbeschaffung und -strukturierung innerhalb der Anwendung der vorbeugenden QM-Technik überträgt Kenntnisse und Erfahrungen vorangegangener Produktentwicklungen. Ein entscheidender Vorteil des offenen Antwortformates ist es, eine gezielte Lenkung auf diejenigen Inhalte zu ermöglichen, welche als wichtig erachtet und als zentral angesehen werden.

Ziel des Fragenkataloges ist es, dass die Fragestellungen offene Antworten ermöglichen. Eine gebundene Beantwortung von Fragestellungen kann bei vollständiger Abarbeitung aller Fehler das Bewusstsein suggerieren, dass sämtliche Maßnahmen zu deren

Vermeidung getroffen wurden. Daher wird der Fragenkatalog nicht in einen schematischen Ablaufplan in Form einer Ja/Nein-Beantwortung überführt.

Mit Hilfe der **Maßnahmenabfrage zur Fehlervermeidung** versucht der Fragenkatalog im Nachgang konkrete Maßnahmen zur Fehlervermeidung, d. h. präventive Maßnahmen des Entwicklers, welche zur Vermeidung der Risiken von Fehlern dienen, abzufragen. Die Spalte „Maßnahmenvermeidung“ nimmt unmittelbaren Bezug auf die Spalte „Antwort“ und konzentriert sich vor allem auf diejenigen Ergebnisse, welche verneint werden. Ziel ist es, getätigte oder unterlassene Maßnahmen zur Fehlervermeidung zu dokumentieren. Darüber hinaus soll eine aktive Auseinandersetzung mit der Konstruktion gefördert werden, um entwicklungsspezifische Umfänge besser strukturieren und priorisieren zu können. Die nachgeschaltete Spalte zur Maßnahmenabfrage der Fehlervermeidung regt nochmals den Entwickler dazu an, sich für eine Übernahme von Bauteilen, Systemen oder Konzepten zu entscheiden und damit ein Entstehen von Fehlern ausschließen zu können.

Zwar bietet der Fragenkatalog zahlreiche Vorteile, jedoch werden an den Beantworter bzw. Anwender auch zwingende Anforderungen gestellt. Diese lauten:

Grundvoraussetzung zur Beantwortung des Fragenkataloges sind fundierte Kenntnisse über das Produkt, dessen Wirkketten zur Umgebung und deren physikalische Einflüsse auf mögliche Fehlerrisiken innerhalb der Produktfertigung.

Sollten diese Voraussetzungen nicht oder nur ungenügend erfüllt werden, kann mit Hilfe der Maßnahmenabfrage der vierten Spalte kein Nachweis der Fehlerfreiheit durch festgelegte und umgesetzte Maßnahmen garantiert werden. Daher ist es zwingend erforderlich, dass eine umfassende Betrachtung von Konstruktion, Fertigung, Montage und deren funktionaler Zusammenhänge erfolgt.

5.2 Inhalt und Anwendung des Fragenkataloges

Der Fragenkatalog gibt eine explizite (offene Fragestellungen) Beschreibung der Vermeidung von Fehlern wieder. Konstruktive Ausführungen, die innerhalb des Lastenheftes dokumentiert werden, können den Inhalten des Fragenkataloges gegenüber gestellt werden.

Durch den chronologisch dargestellten Produktentstehungsablauf (Konstruktion, Montage, Fertigung) werden sämtliche Eingangsinformationen, die zur Erstellung eines Produktes notwendig sind, abgefragt. Daher eignet sich der Fragenkatalog vor allem zur vorbeugenden Fehlervermeidung in frühen Phasen der Produktentwicklung.

Durch eine strukturierte Abarbeitung des Fragenkataloges ist es möglich, in kürzester Zeit die wesentlichen Schwerpunkte zur Vermeidung von Fehlern zu identifizieren. Auch beinhaltet der Fragenkatalog das wesentliche Element der Minimierung von Änderungen durch die Verwendung möglichst vieler robuster Komponenten.

Aufgrund seiner kompakten Darstellungsweise wird dem Produktentwickler ein Hilfsmittel angeboten, was ihn dazu befähigt, seinen Produktumfang und deren angrenzende Bauteile sichtbar zu machen. Es entsteht ein geschlossener Regelkreis, welcher sich sowohl auf Einzelprozesse konzentriert, als auch übergeordnete Strukturen und Zusammenhänge in Frage stellt. Dies garantiert eine ganzheitliche Betrachtungsweise des Produktentstehungsprozesses.

Die intensive Auseinandersetzung mit allen am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereichen schafft eine Kultur der Förderung von Informationsaustauschen innerhalb des Unternehmens. Der Fragenkatalog baut aufgrund seiner Struktur und seines motivationspsychologischen Hintergrundes (offenes Antwortformat, Integration von Fertigung und Montage) einen hohen Identifikationsgrad des Entwicklers zu dessen Umfeld auf. Dies ermöglicht eine fehlerfreie Produktentwicklung.

Die Entwicklung des Fragebogens basiert vordergründig auf der Analyse von Fehlerpotentialen und deren Ursachen. Die Abarbeitung der einzelnen Fragestellungen ist dafür Voraussetzung.

Darüber hinaus dient der Fragenkatalog zur Archivierung des Erfahrungswissens. So können beispielsweise zeitintensive Untersuchungen bzgl. der Bauteilfestigkeit oder Randbedingungen zur konstruktiven Übernahme modularer Strukturen anderen Konstrukteuren und Fertigungsplanern zugänglich gemacht werden.

Mit Hilfe der Erstellung von belastbaren und reproduzierbaren Maßnahmen zur Erreichung einer Null-Fehler-Qualität kann der Fragenkatalog als Werkzeug zur Bildung eines systematischen Verbesserungsprozesses angesehen werden. Mit der in ihm entwickelten Ursache-Wirkungskette wird ein hohes Maß an Übereinstimmung zwischen Analyse und Realität hinsichtlich des Ausfallverhaltens abgebildet.

5.3 Vergleich der Lösungsinhalte des Fragenkataloges mit den Defiziten der FMEA, QFD und DRBFM

Die folgende Tabelle soll die in Kapitel 3 beschriebenen Defizite den Ansätzen des Fragenkataloges gegenüberstellen. Die Umsetzung der Ansätze entspricht direkt (z. B.

Wahl der Konstruktionsart) oder indirekt (z. B. Zeitmangel) den Schwerpunkten des Fragenkataloges.

| Defizite der FMEA | Ansätze der neuen QM-Technik Fragenkatalog |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • ungenügende Abstimmung zwischen Konstruktion und Fertigung (ganzheitliche Betrachtungsweise) bzw. ausschließliche Konzentration auf Einzelprozesse | <ul style="list-style-type: none"> • ganzheitlicher Ansatz durch Konzentration auf Konstruktion, Fertigung, Montage |
| <ul style="list-style-type: none"> • fehlende Detaillierung und Bewertung der Wechselwirkungen und Beziehungen von Komponenten bzw. zwischen einzelnen Systemen | <ul style="list-style-type: none"> • Lösung durch Beschreibung der Produktstruktur auf Basis einer Stückliste |
| <ul style="list-style-type: none"> • keine Unterscheidung zwischen Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme (Wahl der Konstruktionsart) | <ul style="list-style-type: none"> • Bestandteil des Schwerpunktes des Fragenkataloges „Schnittstellen, Wechselwirkungen“ |
| <ul style="list-style-type: none"> • der eigentliche Fehler B_{Fehler} wird bei der Bildung der RPZ nur zu einem Drittel berücksichtigt, A_{Fehler} und E_{Fehler} tragen nicht zur Beschreibung des Fehlers bei • Aussagefähigkeit der RPZ sehr subjektiv, hängt von den Erfahrungen der Teammitglieder ab | <ul style="list-style-type: none"> • nicht zutreffend |
| <ul style="list-style-type: none"> • Aufwand der Methodik gering, jedoch Aufwand der Ausführung hoch | <ul style="list-style-type: none"> • Aufwand der Methodik gering, Aufwand der Ausführung von der Produktkomplexität abhängig |
| <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchungsmethodik basiert auf Listen | <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchungsmethodik basiert auf Listen in Form eines Fragenkataloges. Inhaltliche Integration aller Vorteile vorbeugender QM-Techniken |

weiter siehe S. 85

| Defizite der QFD | Ansätze der neuen QM-Technik Fragenkatalog |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • sehr hoher zeitlicher Aufwand (wesentlich höher gegenüber FMEA) durch Bildung zahlreicher Matrizen • Erstellung einer komplexen Matrixstruktur erfordert hohen Koordinationsaufwand zwischen den am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereichen • Anwendung erfordert ausgeprägtes Methodenwissen, deshalb sehr hoher Schulungsaufwand notwendig • hohe Komplexität der Methodik aufgrund der Multiplikation von Kundenanforderungen und Qualitätsmerkmalen (Matrixstruktur) | <ul style="list-style-type: none"> • selbsterklärender Fragenkatalog ohne Vorkenntnisse ermöglicht einen geringen Zeit- bzw. Schulungsaufwand und eine geringe Einarbeitungszeit |
| <ul style="list-style-type: none"> • keine Unterscheidung zwischen Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme (Wahl der Konstruktionsart) | <ul style="list-style-type: none"> • Bestandteil des Schwerpunktes des Fragenkataloges „Schnittstellen, Wechselwirkungen“ |
| <ul style="list-style-type: none"> • kaum Standardisierung der vorbeugenden QM-Technik möglich, da sehr hoher Individualisierungsgrad bei der Bildung der Matrizen vorliegt | <ul style="list-style-type: none"> • hoher Standardisierungsgrad |
| <ul style="list-style-type: none"> • Gefahr von Übersetzungsfehlern | <ul style="list-style-type: none"> • nicht zutreffend |
| <ul style="list-style-type: none"> • keine detaillierte Beschreibung der Fehlerursachen | <ul style="list-style-type: none"> • detaillierte Beschreibung der Fehlerursachen |
| <ul style="list-style-type: none"> • sowohl Aufwand der Methodik, als auch Aufwand der Ausführung sehr hoch | <ul style="list-style-type: none"> • Aufwand der Methodik gering, Aufwand der Ausführung von der Produktkomplexität abhängig |
| <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchungsmethodik basiert auf der Bildung von Matrizen | <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchungsmethodik basiert auf Listen in Form eines Fragenkataloges. Inhaltliche Integration aller Vorteile vorbeugender QM-Techniken |

| Defizite der DRBFM | Ansätze der neuen QM-Technik Fragenkatalog |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • geringe Standardisierung der QM-Technik | <ul style="list-style-type: none"> • hoher Standardisierungsgrad |
| <ul style="list-style-type: none"> • keine Analyse des eigentlichen Fehlers | <ul style="list-style-type: none"> • Analyse von Fehlerpotentialen und Fehlerursachen |
| <ul style="list-style-type: none"> • ungenügende Abstimmung zwischen Konstruktion und Fertigung (Fehlen einer ganzheitlichen Betrachtungsweise) bzw. ausschließliche Konzentration auf Einzelprozesse | <ul style="list-style-type: none"> • Abstimmung durch Regelkreis (Konstruktion, Fertigung, Montage) |
| <ul style="list-style-type: none"> • geringfügige Unterscheidung zwischen Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme, da Konzentration auf entwicklungspezifische Inhalte (Schwerpunkte der Entwicklung) | <ul style="list-style-type: none"> • Bestandteil des Schwerpunktes des Fragenkataloges „Schnittstellen, Wechselwirkungen“ |
| <ul style="list-style-type: none"> • ausschließliche Konzentration auf Änderungen, d. h. Weiterentwicklung von Produkten | <ul style="list-style-type: none"> • Integration von Neuentwicklung, Weiterentwicklung und Übernahme |
| <ul style="list-style-type: none"> • keine Berücksichtigung der Verhinderung der Risiken von Fehlern (getroffene Maßnahmen zur Fehlervermeidung) im Zusammenspiel verschiedener Komponenten und Systeme | <ul style="list-style-type: none"> • wird innerhalb der Spalte „Maßnahmenabfrage“ berücksichtigt |
| <ul style="list-style-type: none"> • sowohl Aufwand der Methodik, als auch Aufwand der Ausführung sehr hoch, da Integration der vorbeugenden QM-Techniken FMEA und QFD | <ul style="list-style-type: none"> • Aufwand der Methodik gering, Aufwand der Ausführung von der Produktkomplexität abhängig |
| <ul style="list-style-type: none"> • keine eigene Untersuchungsmethodik, basiert auf der Integration vorhandener vorbeugender QM-Techniken (FMEA, QFD usw.) mit dem Ziel der Übernahme bzw. Weiterentwicklung von Produkten oder Prozessen | <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchungsmethodik basiert auf Listen in Form eines Fragenkataloges. Inhaltliche Integration aller Vorteile vorbeugender QM-Techniken |

Tab. 11: Vergleich der QM-Technik Fragenkatalog zur DRBFM

Mit Zunahme der Komplexität des Produktes steigt der Umfang des Fragenkataloges an. Jedoch kann der Aufwand zur Beantwortung des Fragenkataloges durch eine fehlerfreie Konstruktion erheblich reduziert werden.

Der komplette Fragebogen ist im Anhang 1 hinterlegt.

6 Validierung und Erprobung anhand eines eigens gewählten Industrieprojektes

Die Gestaltung einer neuartigen Methode zum Aufdecken von potentiellen Fehlern ist besonders dann von Interesse, wenn die daraus resultierenden Effekte in der Praxis erfolgreich nachgewiesen werden. Damit lässt sich der investierte Aufwand rechtfertigen und die Anwendung der entwickelten Methodik besser umsetzen.

6.1 Problemstellung

Elektrowerkzeuge sind sowohl im Heimwerker- als auch Profibereich nicht mehr wegzudenken. Ziel der Unternehmen muss es sein, qualitativ hochwertige, den Kundenanforderungen erfüllende Produkte, zu möglichst niedrigen Kosten zu entwickeln. Kunden sind nur bereit, einen Preis für Produkte zu zahlen, die ihren Bedürfnissen entsprechen. Damit bestimmt der Kunde die Höhe der Aufwendungen.

Zunächst sind im Anwendungsbereich entsprechende Belastungen, Gefahren und Probleme im Umgang mit einer Bohrmaschine näher zu untersuchen. Diese können sein:

- unfachgemäßes Wechseln des Bohrers
- Bohren ungeeigneter Materialien
- Verwendung in stark verschmutzten Räumen
- Spannungsschwankungen
- Verschmutzung der Antriebseinheit durch Bohrspäne
- unsachgemäßer Transport des Gerätes (Fallen lassen der Bohrmaschine)
- nicht vorhergesehene Verwendung der Bohrmaschine, z. B. als Hammer

Darüber hinaus bestehen bei der Nutzung einer Bohrmaschine Gefahren, welche durch gezielte konstruktive Abhilfemaßnahmen vermieden werden müssen. Beispielsweise ist es möglich, dass bei der Übertragung des Drehmomentes das Zahnrad den Belastungen nicht Stand hält und einen Schaden davonträgt.

Der Autor trifft die Annahmen, dass die Bohrmaschinen in großen Stückzahlen hergestellt werden und seit Einführung des neuen Modells zahlreiche Gewährleistungskosten aufgetreten sind. Darüber hinaus möchte das Werkzeug-Unternehmen einige Produkte in einem höheren Marktsegment positionieren. Dazu ist es erforderlich, die technischen Daten, wie beispielsweise das Drehmoment der Bohrmaschine zu erhöhen. Die beschriebenen Anforderungen haben direkten Einfluss auf die Auslegung der

folgenden Stückliste wird die Produktstruktur der Bohrmaschine in Baugruppen usw. unterteilt.

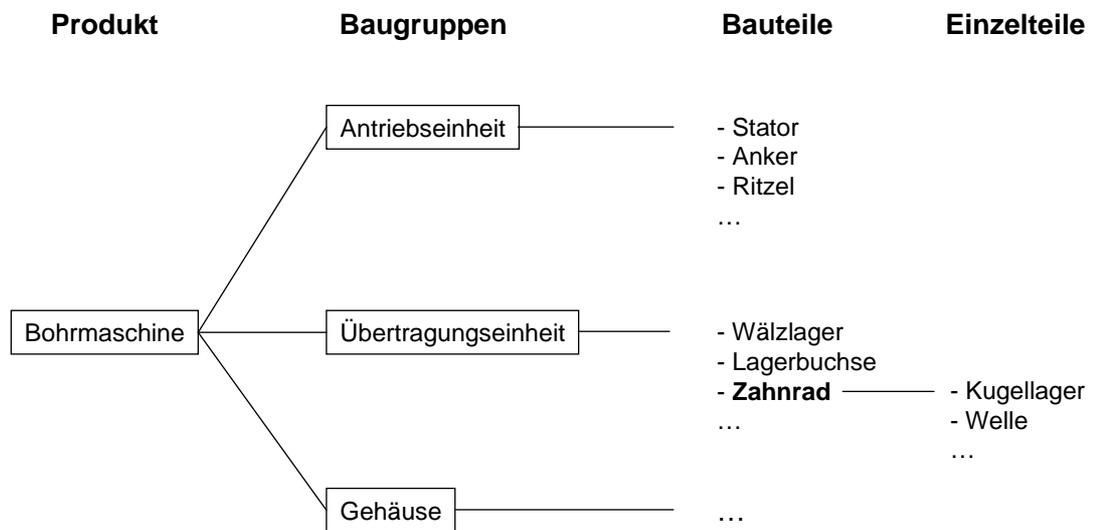


Abb. 32: Ausschnitt aus der Produktstruktur einer Bohrmaschine

Die Produktstruktur der Bohrmaschine gibt die Funktionalitäten und Wechselwirkungen des Zahnrades mit seiner Umgebung wieder. Im beschriebenen Betrachtungsfall besteht eine Verbindung zwischen Ritzel und Zahnrad. Das Zahnrad ist ein Bauteil der Übertragungseinheit und bildet den Kraftschluss zwischen Bohrspindel und Ritzel.

Die Vermeidung der Fehlers „Überlastung des Zahnrades“ erfolgt mit Hilfe des Fragenkataloges. Es gilt ein interdisziplinäres Team zusammenzustellen, welches die notwendigen Fachkenntnisse aufbringt. Dazu wird neben dem Produktentwickler ein Einkäufer, welcher produktionstechnische Informationen zu möglichen Lieferanten beschafft, ein Monteur und eine Fertigungsperson in Verbindung mit einem Qualitätsverantwortlichen in das Projekt involviert.

Zunächst werden die Fragestellungen für die Konstruktion mit Hilfe des Fragenkataloges aufgezeigt. Eine nähere Erläuterung erfolgt im Nachgang. Der komplette Fragebogen am Beispiel der Bohrmaschine ist im Anhang 2 dargestellt.

| Produkt-entstehung | Fragestellung | | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|--------------------------------------|---|--|--|--|
| Fragestellungen für die Konstruktion | Anforderungsanalyse | Welche Schlussfolgerungen ergeben sich bei der Erstellung einer Anforderungsanalyse für das neue Produkt? Welche mit den am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereichen (Fertigung, Logistik, Lieferanten, etc.) sind mit involviert? Wie gestaltet sich die Teamzusammenstellung? | höhere Drehmomente verringern die Lebensdauer des Zahnrades; Bereiche im Team: Entwicklung, Fertigung, Montage, Einkauf, Logistik, Qualität, Lieferanten | Stärken-Schwächen-Analyse der Verzahnung anderer Wettbewerber |
| | | Was ergibt eine Systemanalyse des Vorgängers (Innovationsgrad des Vorgängers) oder Wettbewerbers? Wie sieht dazu eine Stärken-Schwächen-Analyse aus? | Wettbewerber weist höhere Werte bei Dauerbelastungstests auf | Stärken-Schwächen-Analyse |
| | | Welche Alleinstellungsmerkmale des Produktes, die eine präventive Absicherung bzgl. potentieller Fehler verlangen, gibt es? | unüblicher Wellendurchmesser | Angleichen des Wellendurchmessers |
| | Entwicklung von Produkten in interdisziplinären Teams | In welcher Form finden Teamgespräche mit allen am Entwicklungsprozess beteiligten Bereichen statt? Wie setzen sich diese interdisziplinären Teams zusammen? | Gespräche mit erfahrenen Vertretern der Bereiche Entwicklung, Fertigung und Montage | Stückliste zur Identifizierung der Fehlerursachen: Verzahnungsgeometrie führt zur Geräuschbildung der Bohrmaschine |
| | Verwendung bewährter Lösungskonzepte | Wie wird bei der Entwicklung auf eine Wiederverwendung möglichst vieler bewährter Produktentwicklungen und Konzepte geachtet? Wo treten ähnliche Lösungen auf? | Verwendung eines bewährten Serienzahnrad, welches höhere Drehmomente überträgt | Standardisierung des Zahnrades |
| | | Wie konnte die Beherrschung der Technologie bereits unter Serienbedingungen nachgewiesen werden? Welche Lösungsalternativen gibt es, die eine Vermeidung von Fehlern ermöglichen? | Dauerbelastungstests des Zahnrades gewährt hohe Lebensdauer | Wiederverwendung von Erfahrungswerten |
| | | Wie werden die Produktinnovationen auf mögliche potentielle Fehler untersucht? Wie werden diese mit vorbeugenden Maßnahmen versehen? | Involvieren von Fertigung und Montage | Identifizieren/Vermeiden von Fehlerursachen durch Belastungstests des Zahnrades |

| Produkt-entstehung | Fragestellung | | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|--------------------------------------|---|--|--|---|
| Fragestellungen für die Konstruktion | Verwendung bewährter Lösungskonzepte | Wie ist eine Übernahme existierender Lösungen geplant? Was ergibt die dazu durchgeführte Variantenanalyse? Welche Varianten gibt es? | Analyse der verschiedenen Varianten | Standardisierung, Modularisierter Aufbau der Bohrmaschine |
| | Erfahrungssicherung innerhalb des Produktentstehungsprozesses | Inwieweit werden Erfahrungen zur Reduzierung entwicklungs- und planungsbegleitender Fehler eingesetzt (Erfahrungssicherung)? Wo finden Rückmeldungen aus Produkterfahrungen des Vorgängers Berücksichtigung? Wie erfolgt eine Erfahrungssicherung? | Dokumentation des Entwicklungsfortschrittes im Fragenkatalog; Rückmeldungen durch Befragung vorheriger Konstrukteure | Nutzung des Fragenkataloges; Durchführung einer Risikoanalyse |
| | | Wie kann trotz Innovation die Funktionalität abgesichert werden? Wo sind Auswirkungen der Innovation(en), wie z. B. mangelnde Erfahrungen, auf die Produktherstellung möglich? | Durchführen zahlreicher Dauertests; keine Auswirkungen vorhanden, da Übernahme des Zahnrades | Teamarbeit, Standardisierung der Schnittstellen |
| | | Wie werden redundante Lösungen zur präventiven Absicherung vorgehalten? | Verwendung des alten Zahnrades | nicht zutreffend |
| | | Wie wird eine Integration von Produktüberlegungen zur Erreichung der Null-Fehlerqualität bereits in der frühen Entwicklungsphase zur sofortigen Fehleraufdeckung vorgenommen (Poka Yoke)? | Integration von Vertauschsicherungen in den Fertigungs- und Montageablauf | Poka Yoke |
| | | Wie werden Untersuchungen zu möglichen äußeren Einflüssen (EMV, gesetzliche Anforderungen, etc.) durchgeführt? Welche Qualitätstechniken, z. B. Fischgräten-diagramm, werden dazu verwendet? | nicht zutreffend | nicht zutreffend |

weiter siehe S. 92

| Produkt-entstehung | Fragestellung | | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|--------------------------------------|--|---|---|--|
| Fragestellungen für die Konstruktion | Wahl der Konstruktionsart | Welche Synergieeffekte sind innerhalb der Konstruktion geplant? Aufgrund welcher Prämissen wird eine Konzeptauswahl (auch hinsichtlich Neuentwicklung, Weiterentwicklung, Übernahme) durchgeführt? Wie erfolgt eine Gegenüberstellung der möglichen Alternativen? Welche robusten Alternativlösungen sind vorgesehen? Wie hoch ist der Anteil der Standardisierung? | Weiterentwicklung der Bohrmaschine; Benchmarks im eigenen Unternehmen; Anteil an Standardisierung ca. 65% | Standardisierung |
| | Konzentration auf die Vermeidung von Fehlern | Wie wird sichergestellt, dass ein Großteil der Entwicklungskapazität in die kritischen Aspekte des Produktes fließt? Wie gestaltete sich dies? | Konzentration der Ressourcen auf die konstruktive Änderung des Zahnrades; Erweiterung des Entwicklungsteams | erfolgreiche Dauertest konnten die Übertragung des höheren Drehmomentes nachweisen |
| | Schnittstellen, Wechselwirkungen | Welche Wechselwirkungen (mechanisch, geometrisch, elektr(on)isch) sind zwischen den angrenzenden Komponenten und Systemen mit dem Ziel der Funktion des Gesamtsystems bekannt? Wie wird sichergestellt, dass alle betroffenen Systemschnittstellen berücksichtigt werden? | Schnittstelle zwischen Zahnrad und Ritzel weist mechanische Wechselwirkung auf | Stückliste der Bohrmaschine untersucht alle angrenzenden Baugruppen, Bauteile, Systemschnittstellen und deren Wechselwirkungen |
| | | Welche evtl. Auswirkungen auf weitere Funktionen sind zu befürchten? Wie werden mögliche Fehler bereits in der frühen Entwicklungsphase des Produktes abgesichert? | keine; Dauerbelastungstest | Dauertests |

Tab. 12: Fragestellungen für die Konstruktion am Beispiel der Bohrmaschine

Erstellung einer Anforderungsanalyse

Zu Beginn der **Fragestellung für die Konstruktion** wird auf die Erstellung einer Anforderungsanalyse eingegangen. Belastungstests ergeben, dass höhere Drehmomente zu einer erheblichen Verringerung der Lebensdauer des Zahnrades führen. Daher wird als Maßnahme zur Fehlervermeidung eine Stärken-Schwächen-Analyse der Verzahnung anderer Wettbewerber durchgeführt.

Entwicklung von Produkten in interdisziplinären Teams

Innerhalb der Fragestellung zur Entwicklung der Bohrmaschine in interdisziplinären Teams werden Gespräche mit jeweils einem erfahrenen Vertreter der Bereiche Entwicklung, Fertigung, Montage usw. durchgeführt. Hierbei wird eine Stückliste der Bohrmaschine zur Identifizierung der Fehlerursachen herangezogen. Durch Dauerläufe konnte festgestellt werden, dass die zu knappe Verzahnungsgeometrie (Überbeanspruchung der Zahnräder) unweigerlich zur Geräuschbildung des Produktes führt.

Verwendung bewährter Lösungskonzepte

Aufgrund der Variantenreduzierung wird auf eine Verwendung bewährter Lösungskonzepte gedrungen. Innerhalb der Produktion werden kleinere Losgrößen gefertigt, was größere Rüstzeitanteile hervorruft. Dem kann nur durch eine Standardisierung der Zahnräder begegnet werden. Die Standardisierung ist eine Maßnahme zur Fehlervermeidung.

Es wird ein Zahnrad verwendet, welches eine stärkere Verzahnung aufweist. Die Beherrschung einer stärkeren Verzahnung konnte bereits unter Serienbedingungen nachgewiesen werden.

Erfahrungssicherung innerhalb des Produktentstehungsprozesses

Der Einbau des neuen Zahnrades bedingt keine neuen Erfahrungen. Lediglich die Verzahnung ändert sich, was jedoch keine Auswirkungen auf die Montage haben wird.

Der Nachweis der Fehlervermeidung kann in Analogie zum vorherigen Zahnrad durch den Einbau von Vertauschsicherungen innerhalb der Fertigung und Montage erbracht werden. Es empfiehlt sich, aufgrund der Übernahme der stärkeren Verzahnung von einer vorhandenen Antriebseinheit einen vereinbarten Rhythmus zum Erfahrungsaustausch unter den Projektleitern zu organisieren.

Wahl der Konstruktionsart

Die Wahl der Konstruktionsart kann als Weiterentwicklung einer bestehenden Lösung angesehen werden. Es gilt zu untersuchen, ob und in welchem Umfang eine Standardisierung der weiterentwickelten Zahnräder die Umsetzung des Null-Fehler-Konzeptes erreichen kann. Somit sind vorwiegend weiterführende Konstruktions-

änderungen bezüglich des Zahnrades durchzuführen. Es wird über die Unterstützung externer Wissensträger nachgedacht.

Im Unternehmen soll ein größerer Praxistest der Drehmomente und Dauerbelastungen der Bohrmaschine vorgenommen werden. Zwingend muss darauf geachtet werden, Neuentwicklungen zu vermeiden. Vielmehr ist die Übernahme des Konzeptes aus wirtschaftlichen Gründen anzustreben.

Konzentration auf die Vermeidung von Fehlern

Die Konzentration auf die Vermeidung von Fehlern wird durch eine Vergrößerung des Entwicklungsteams erreicht. Sowohl durch entsprechende Visualisierungen, als auch Dauertests kann erkannt werden, dass die konstruktiven Änderungen des Zahnrades keine Ausfälle hervorrufen.

Maßnahmen zur Fehlervermeidung sind vorwiegend innerhalb der Konstruktionsphase der Zahnräder vorzunehmen. In jedem Entwicklungsschritt sind Fehlermöglichkeiten und deren Abstellmaßnahmen in Form eines Wirksamkeitsnachweises zu diskutieren bzw. zu dokumentieren. Es erfolgt ein Abgleich zwischen Ursachenbeseitigung und Ursachenermittlung, welcher durch eine Maßnahmenabfrage zur Fehlervermeidung erreicht wird. So können zu jedem Schwerpunkt der Produktentstehung Maßnahmen zur Fehlervermeidung festgehalten werden. Es empfiehlt sich, das gesammelte Erfahrungswissen mit Hilfe einer IT-unterstützten Suchfunktion abrufbar bereitzustellen.

Schnittstellen und Wechselwirkungen

Neben der konstruktiven Änderung des Zahnrades sind auch dessen Auswirkungen auf angrenzende Bauteile zu prüfen. Fragen wie: „Welche Wechselwirkungen (mechanisch, geometrisch, elektr(on)isch) sind zwischen den angrenzenden Komponenten und Systemen mit dem Ziel der Funktion des Gesamtsystems bekannt?“ sind hierbei zu klären.

Eine zentrale Schnittstelle besteht zwischen Zahnrad und Ritzel. Diese kann als mechanische Wechselwirkung angesehen werden. Mit Hilfe der Stückliste werden alle angrenzenden Baugruppen und -teile auf Systemschnittstellen und deren Wechselwirkung untersucht. Auch sind die Erfahrungen der Fertigung und Montage in die Entscheidungsfindung zur Vermeidung von Fehlern einzubeziehen.

Zur Beantwortung der **Fragestellungen der Fertigung** ist festzustellen, dass durch die Übernahme eines bestehenden Zahnrades keine neue Vorrichtung gefertigt werden muss. Jedoch soll eine deutliche Verbesserung der Fertigungsqualität im Hinblick auf die Zielgröße der Produktionsteuerung angestrebt werden. Steigende Kundenanforderungen hinsichtlich Flexibilität und Änderungsmöglichkeiten erschweren zusätzlich den Fertigungsprozess. Daher werden Akquisitionen betrieben, die unter anderem den Aufbau weiterer Fertigungsstandorte bedingt.

Mit Hilfe einer standardisierten Fertigung der Antriebs- und Übertragungseinheit der Bohrmaschine können zahlreiche Fehlermöglichkeiten von Beginn an vermieden werden. Dies trägt zur Reduzierung der Fertigungsvarianten bei.

| Produktentstehung | Fragestellung | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|-----------------------------------|---|--|--|
| Fragestellungen für die Fertigung | Fertigungsfähigkeit des Produktes Durch welche Maßnahmen wird die Produktqualität im Fertigungsprozess abgesichert? Wie kann dadurch eine fehlerfreie Fertigung des Produktes vor dem Hintergrund von Null-Fehlerqualität garantiert werden? Welche Maßnahmen wurden dazu getroffen, dass die Fertigungsfähigkeit des Produktes als prozesssicher angesehen werden kann? | Schaffung eines hohen Automatisierungsgrades; Einsatz von Poka Yoke; | Automatisierung |
| | Auf welche Weise können mehrere Bauteile an ein und derselben Maschine produziert werden? Wo wird dies durch ein Variantenreduzierungskonzept (z. B. Modulbauweise, Gleichteile, Baukasten, etc.) in der frühen Entwicklungsphase des Produktes berücksichtigt? Welche Erfahrungswerte gibt es in diesem Zusammenhang? | Fließfertigung (standardisierte Fertigung); Fertigung von Modulen | Standardisierung; Modulbauweise |
| | Wie hat sich der Wissensaustausch zwischen Produktentwicklung und Fertigung gestaltet? | Review-Gespräche konnten den Wissenstransfer zwischen Konstruktion und Fertigung gewährleisten. Es konnten Erfahrungen in die derzeitige Konstruktion integriert werden. | Teambesprechungen, Diskussion und Maßnahmendefinition bzgl. des Aufbaus derzeitiger Module |
| | Welche Cost-Down-Maßnahmen gibt es? Welchen Einfluss haben diese auf die Prozessfähigkeit der Produktentwicklung? Was ergibt die dazu durchgeführte Risikoanalyse? | höhere Stückzahlfertigung des Lieferanten; Fertigung der Zahnräder im Ausland | Durchführen einer Risikoanalyse |

Tab. 13: Fragestellungen für die Fertigung am Beispiel der Bohrmaschine

Die **Montagefähigkeit der Bohrmaschine** wird durch die enge Zusammenarbeit von Entwicklung und Montage sichergestellt. Die Montage hat sich gegenüber dem Vorgänger nicht verändert, damit sind keine zusätzlichen Risiken verbunden.

Im Rahmen des Simultaneous Engineering muss die Montagefähigkeit in den Produktionsablauf integriert werden. Ein konstruktives Zusammenwirken der beteiligten Fachabteilungen trägt zur vorbeugenden Vermeidung von Fehlern bei. Die Verwendung bewährter Hilfsmittel (z. B. Vertauschsicherungen) reduziert zusätzlich das Fehlerrisiko.

Ein neues Fertigungskonzept und die Erstellung einer geänderten Fertigungsstraße bilden die Voraussetzung für kurze Anlieferwege. Ein reibungsloser logistischer Ablauf ermöglicht die Umsetzung von JIT- und JIS-Konzepten.

| Produktentstehung | Fragestellung | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|---------------------------------|--------------------------------|---|---|
| Fragestellungen für die Montage | Montagefähigkeit des Produktes | Wie werden aufgrund von Erfahrungswerten mögliche Montageprobleme vermieden? Wie kann dadurch die Montagefähigkeit des Produktes sichergestellt werden? | enge Zusammenarbeit von Entwicklung und Montage Job Rotation |
| | | Welche besonderen Hilfsmittel (Einbauhilfen) sind zur Montage notwendig? Wie wird dadurch eine Reduzierung von Fehlern erreicht? | Konstruktive Gestaltung von Vertauschsicherungen Vertauschsicherungen |
| | | Wie und in welchem Umfang wird der Montagepartner in die Montagefähigkeit des Produktes mit einbezogen? Wie gestalten sich die Verantwortungsbereiche? Welche erforderlichen Schnittstellenpartner gibt es? | Erfahrungsaustausch zwischen Konstruktion und Montage Wissensaustausch |
| | | Wie wird durch Maßnahmen innerhalb des logistischen Ablaufes eine erhöhte Absicherung der Montierbarkeit erreicht? | Ein neues Logistik-Konzept und der Umbau einer Fertigungsstraße gewährleistet ein Null-Fehlerkonzept. JIT- / JIS-Anlieferungen |

Tab. 14: Fragestellungen für die Montage am Beispiel der Bohrmaschine

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Überblick und Ergebnisse

Der koordinierte und systematische Einsatz von vorbeugenden QM-Techniken in Entwicklungsprozessen mit dem Ziel einer Null-Fehlerproduktion ist trotz vielfältiger Anstrengungen in der Industrie nur teilweise erreicht.

Eine umfangreiche Analyse zum Stand der Forschung hinsichtlich der Einsetzbarkeit angewandter Methoden zur Fehlervermeidung zeigt, dass deren Nutzen und Anwendbarkeit deutliche Unterschiede aufweist. Hierzu werden die FMEA, FTA, DoE, SPC, QFD und Poka Yoke beschrieben, wobei eine nähere Eingrenzung bzw. Ausweitung auf die Methoden FMEA, QFD und DRBFM vorgenommen wird. Ziel der Untersuchungen ist es, bekannte und etablierte, aber auch neueste Entwicklungen gegenüberzustellen. Dazu werden in dieser Arbeit die FMEA, QFD und DRBFM hinsichtlich ihrer Vorteile und Schwächen analysiert.

Auf Grundlage der Analyse werden Anforderungen an eine neue Methode zur Fehlervermeidung abgeleitet. Oberste Zielsetzung muss eine einfache und selbsterklärende Methodik sein. Eine weitere Forderung ist der Nachweis der Fehlerfreiheit durch festgelegte und umgesetzte Maßnahmen. Auch spielt die umfassende Betrachtung von Konstruktion, Fertigung und Montage und deren funktionale Zusammenhänge eine entscheidende Rolle bei der fehlerfreien Entwicklung und Herstellung von Produkten.

Im Rahmen des Simultaneous Engineering ist eine enge Zusammenarbeit mit allen erforderlichen Schnittstellenpartnern notwendig. Daher spielt die Psychologie der Art der Informationsgewinnung bei der Entwicklung einer neuen vorbeugenden QM-Technik eine wesentliche Rolle.

Innerhalb der motivationspsychologischen Forschung werden Auswirkungen beim Bearbeiten von Lernaufgaben unterschiedlichen Aufgabenformates untersucht. Es gilt, ein geeignetes Antwortformat zu finden. Dazu stehen grundsätzlich das offene und das gebundene Antwortformat zur Verfügung.

Nähere Untersuchungen der Arbeit ergeben, dass das offene Antwortformat für die Entwicklung selbständiger Informationsbeschaffung und -strukturierung geeignet ist. Das offene Antwortformat fördert auf Basis der Fragestellung von Lernaufgaben eine intensive Auseinandersetzung mit allen an der Produktentstehung betroffenen Bereichen.

Vor dem Hintergrund des Produktentstehungsprozesses wird ein methodisches Vorgehen erstellt, welches die Erreichung eines Null-Fehler-Konzeptes anstrebt. Um den

wachsenden Ansprüchen an die Verwendung einer Methode zum Aufdecken von potentiellen Fehlern in der Produktentstehung gerecht zu werden, muss diese schnell und aufwandsarm einsetzbar sein.

Eine Methode zur Erzielung von Null-Fehlerqualität an Bauteilen der mechanischen Fertigung ist die Erstellung einer Checkliste in Form eines Fragenkataloges.

Der Fragenkatalog besteht aus zwei zentralen Bereichen, der Stückliste und dem eigentlichen Fragenbereich. Zunächst erfolgt auf Basis einer **Stückliste** die Beschreibung der Produktstruktur. Die Stückliste ist ein Hilfsmittel zur Identifizierung von Fehlerursachen in jeder Entwicklungsphase des Produktes. Es gilt, das Produkt in die Ebenen Baugruppen, Bauteile und ggf. deren Einzelteile zu untergliedern. Dadurch wird eine transparente Darstellung möglicher Schnittstellen und Wechselwirkungen geschaffen. Der zweite Bereich des Fragenkataloges beinhaltet die Tabellenspalten Produktentstehung, Fragestellung, Antwort und Maßnahmen zur Fehlervermeidung. Ziel des **Fragenbereiches** ist die Vermeidung von Fehlerursachen. Die Produktentstehung ist unterteilt in:

- Fragestellungen für die Konstruktion,
- Fragestellungen für die Fertigung und
- Fragestellungen für die Montage.

Die Entwicklung des Fragenkataloges weist einen erheblichen motivationspsychologischen Hintergrund auf. Dieser kann durch drei wesentliche Punkte beschrieben werden:

- Aufbau eines inhaltlichen Spannungsbogens
- Wahl des offenen Antwortformates
- Maßnahmenabfrage zur Fehlervermeidung

Innerhalb der einzelnen entwicklungsspezifischen Schwerpunkte wird ein **inhaltlicher Spannungsbogen** in Form von weiteren aufeinander folgenden Fragestellungen zum gleichen Themenbereich aufgebaut, um die Qualität der Antworten zu erhöhen. Durch die zunehmende Präzisierung der Fragestellung kann ein Höchstmaß an Informationsgehalt der Antworten ermöglicht werden.

Durch die **Wahl des offenen Antwortformates** wird sichergestellt, dass der Beantworter der Fragestellung sämtliche Erfahrungen und Kenntnisse der entsprechenden Thematik dokumentiert. Neben einer intensiven Auseinandersetzung mit Erfahrungswerten wird die Zielsetzung verfolgt, Wissen zu strukturieren, anzuwenden und zu überprüfen.

Mit Hilfe der **Maßnahmenabfrage zur Fehlervermeidung** versucht der Fragenkatalog im Nachgang konkrete Maßnahmen zur Fehlervermeidung, d. h. präventive Maßnahmen des Entwicklers, welche zur Vermeidung der Risiken von Fehlern dienen, abzufragen.

Anhand eines selbst gewählten Beispiels soll der Fragenkatalog seinen praxisorientierten Umgang näher verdeutlichen. Zur Erprobung des Fragenkataloges wird die Weiterentwicklung einer Bohrmaschine herangezogen. Es gilt, die Wirksamkeit des Fragenkataloges zu überprüfen.

7.2 Ausblick

Der in dieser Arbeit erstellte Fragenkatalog zum Aufdecken von potentiellen Fehlern in der Konstruktion liefert einen wesentlichen Beitrag, den Einsatz von vorbeugenden QM-Techniken in der Industrie im Sinne eines systematischen und teamorientierten Problemlösungsprozesses zu erhöhen. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass den Verantwortlichen beim Entdecken von Fehlern aus vergangenen oder aktuellen Projekten keine negativen Folgen entstehen. Ziel aller Beteiligten muss es sein, eine „Kultur des Wollens“ nachhaltig im Unternehmen zu etablieren.

Je nach Detaillierungsgrad der fachlichen Beschreibungen fungiert im späteren Verlauf der Produktentstehung der Fragenkatalog zur Sicherung von Erfahrungen. Die Methode zur Fehlervermeidung eignet sich für eine Rechnerunterstützung beim Ausfüllen des Fragenkataloges und der Dokumentation von Erfahrungswissen. Dadurch werden sämtliche Fehlermöglichkeiten komplexer Bauteile und Systeme abgedeckt.

Die derzeitigen Methoden zur Fehlervermeidung beinhalten im Gegensatz zum Fragenkatalog eine nicht ausreichende Dokumentation über potentielle Fehlerrisiken. Mit Hilfe moderner IT-Unterstützungen können diese Informationen dokumentiert werden und einen Wissenstransfer ermöglichen. Somit ist es auch dezentral arbeitenden Fachbereichen möglich, an allen Entscheidungen mitzuwirken.

Die Herausforderung besteht darin, den Fragenkatalog in ein übergeordnetes Datenbanksystem zu integrieren. Darüber hinaus müssen firmenspezifische Anforderungen (Datenbankstrukturen usw.) berücksichtigt werden. Im Hinblick auf die zunehmend globale Verteilung von Unternehmensbereichen ist eine Anbindung an das Internet/Intranet ebenfalls notwendig. Auf diese Weise kann ein wertvoller Beitrag zu einem unternehmensweiten vorbeugenden Qualitätsmanagement geleistet werden.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- AKA 1992 Akao, Y.: QFD – Quality Function Deployment. Verlag Moderne Industrie, Landsberg / Lech 1992.
- ARN 1992 Arnold, R., Bauer, C.-O.: Qualität in Entwicklung und Konstruktion. 3. Auflage. Wuppertal, Köln: TÜV Rheinland, S. 135-147, 1992.
- BAR 1995 Bartuschat, M.: Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der Serienfertigung. Essen, Vulkan-Verlag, 1995.
- BLE 1995 Blessing, L.: Effizienter entwickeln – welche Rolle hat die Konstruktionsforschung. In: VDI-Gesellschaft EKV (Hrsg.): Effizienter Entwickeln und Konstruieren. Tagung München, 23.-24.03.1995, Düsseldorf: VDI-Verlag 1995, S. 125-143. (VDI-Berichte 1169).
- BRU 2003 Bruhn, M., Siems, F.: Produktmanagement WS 2003/04. Basel: Technische Universität München (Vorlesungsunterlagen), S. 101, 2003.
- BRÜ 2005 Brüggemann, H.: Wider die Komplexität. Qualität und Zuverlässigkeit. Qualität und Zuverlässigkeit. Wolfenbüttel: Carl Hanser Verlag, München, Jahrgang 50, 10/2005.
- CHA 1989 Chang, C.: QFD Processes in an Integrated Quality Information System. Computers & Industrial Engineering, Heft 17, S. 311-316, 1989.
- DGQ 2001
Band 13-11 DGQ-Band 13-11: FMEA – Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag GmbH, 2. veränderte Auflage, 2001.
- DGQ 2001
Band 83-01 DGQ-Band 83-01: ProQEngineering – Handlungsleitfaden zur kundenorientierten Produktgestaltung durch problemorientierte Anwendung präventiver QM-Methoden, 1. Auflage (FQS-DGQ-Schriftenreihe), 2001.
- DIE (1) 1999 Dietzsch, M.; Althaus, K.; Brandner, T.: Fehler früh erkennen. QZ 44 (1999) 11, S. 1394 – 1398 Carl Hanser Verlag.
- DIE (2) 1999 Dietzsch, M., Althaus, K.: Fehler und Risiken aufspüren – überall. QZ 44 (1999) 7, S. 889-892 Carl Hanser Verlag.
- DIN 25424-1
1981 Norm DIN 25424-1:1981: Fehlerbaumanalyse, Methode und Bildzeichen. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1981.

- DIN 25448 1990 Norm DIN 25448:1900: Ausfalleffektanalyse (FMEA), Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1990.
- DIN 55350-11 Begriffe zu Qualitätsmanagement und Statistik – Teil 11
Begriffe des Qualitätsmanagements – Ergänzung zu DIN EN ISO 9000:2000-12, März 2004.
- DIN 9000 2005 DIN EN ISO 9000:2005-12: Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe. Dreisprachige Fassung. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN 9004-1 1994 DIN EN ISO 9004-1: Qualitätsmanagement und Elemente eines Qualitätsmanagementsystems – Teil 1: Leitfaden. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1994.
- DUD 2005 Dudenhöffer, F.: Gemeinsam gegen Toyota? Qualität und Zuverlässigkeit. Gelsenkirchen: Carl Hanser Verlag, München, Jahrgang 50, 10/2005.
- EHR 2000 Ehrlenspiel, K. / Kiewert, A. / Lindemann, U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung; Springer Verlag, Berlin, 2000.
- FRÖ 1996 Fröhner, K.; Lorani, A.: Personenbezogene Bestimmungsgrößen in der Produktentwicklung. VDI-Z Integrierte Produktion 138, S. 30-33, 1996.
- GER 1998 Gerlich, A.; Hoffmann, J.; Senfelds, M.: QFD – Aufwand der sich rechnet: QZ, Nr.11 (S. 1370-1374), 1998.
- GÖB 2003 Göbbert, M.: Untersuchung zur Wirksamkeit präventiver qualitätssichernder Maßnahmen in der Fahrzeugindustrie. Berlin (TU): Dissertation, S. 15-41, 2003.
- GÖP 1998 Göpfert, J.: Modulare Produktentwicklung – Markt- und Unternehmensentwicklung. Hrsg.: Picot, A.; Reichwald, R.; Franck, E., Deutscher Universitäts-Verlag, S. 39-60, München 1998.
- GRI 1992 Griffin, A.; Hauser, J. R.: Patterns of Communication Among Marketing, Engineering and Manufacturing – A Comparison Between Two New Product Teams: Management Science 38, Nr.2 (S. 360-373) 1992.
- HAR 1994 Hartung, S.: Methoden des Qualitätsmanagements für die Produktplanung und Produktentwicklung. Aachen: Shaker (RWTH, Diss.), S. 6-8, 1994.
- IPT 2002 Fraunhofer Institut IPT (Umfrage) „Qualität in produzierenden Unternehmen 2002“

- J.D.P. 2002/06 J.D. Power and Associates: Customer Satisfaction Index (CSI). Study SM 2002 und 2006 für Deutschland.
- KAM 1994 Kamiske, G. F.: Quality Function Deployment – oder das systematische Überbringen der Kundenwünsche, Qualitätsplanungs- und Kommunikationsmanagement zwischen Marketer und Ingenieur: Marketing ZFP Nr.3 (S. 181-190) 1994.
- KAM 2003 Kamiske, F., Brauer, J.-P.: Qualitätsmanagement von A bis Z: Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagements. München, Wien: C. Hanser Verlag, S.213-276, 2003.
- KAP 2006 Kapust, A.: Nutzen und Potentiale von DRBFM. Vortragsreihe am Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen, (03/2006).
- KER 1991 Kersten, G.: Steuerung und Unterstützung von Produkt- und Prozessentwicklung durch Methoden der präventiven Qualitätssicherung. S. 20-23, 1991.
- KIN 1989 King, Bob: Better design in half the time. 3. Auflage. GOAL/OPC, Methuen/Ma 1989.
- KIN 1994 King, B.: Doppelt so schnell wie die Konkurrenz – Quality Function Deployment, gfmt – Gesellschaft für Management und Technologie. Verlags AG, 2. überarbeitete Auflage, 1994.
- KÖH 2006 Köhler, C.; Träger, G.; Czenkusch C.: Vom Risiko zum Restrisiko. QZ Jrg. 51, Carl Hanser Verlag, München: 10/2006.
- KRI 2006 Krippner, D.: Präventiv Fehler vermeiden; Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL). Fachzeitschrift: MQ Business Excellence. RWTH Aachen: 10/2006.
- KUB 2005 Kubinger, K. D., Holocher-Ertl S., Frebort M.: Testtheoretische Qualität von Multiple Choice, 2005.
- LIN 2002 Linß, G.: Qualitätsmanagement für Ingenieure, Carl Hanser Verlag, München, Wien, S. 409, 2002.
- LIN 2005 Lindemann, U.: Checklisten zur systematischen Produktentwicklung und Konstruktion. Technische Universität München (Lehrstuhl für Produktentwicklung), Vorlesungsunterlagen, 2005.
- LIN 2007 Lindemann, U.: Produktentwicklung und Konstruktion – Der Lebenszyklus mechatronischer Produkte. Technische Universität München (Lehrstuhl für Produktentwicklung), Vorlesungsunterlagen, S. 57-59, 2007.

- MAR 1991 Marsh, S.: Facilitating and Training in Quality Function Deployment, Methuen 1991.
- MAS 2007 Masing, W.: Handbuch Qualitätsmanagement. Hrsg. Tilo Pfeifer und Robert Schmitt. 5. Auflage. München: Carl Hanser Verlag, 2007.
- MEI 1999 Meindl, M.: Prototypen in der Produktentwicklung. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Rapid Prototyping. Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung. Tagung München. München: Herbert Utz 1999, S. 1-1 – 1-27. (iwb Seminarbereiche Nr.49).
- MER 1999 Merx, O.: Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). In: Merx, O. (Hrsg.) Qualitätssicherung bei Multimedia-Projekten. Berlin et al., S. 66-73, 1999.
- N.N. 2005 N.N. Qualitätstechnik: Fehlhandlungssicherheit (Poka Yoke) Seminarunterlagen. BMW Group, 04/2005.
- N.N. 2007 N.N.: Fertigung von Gütern und Maschinen.
<http://www.westermann.de/pdf/978-3-14-116067-3-3-1.pdf>,
entnommen am 11.11.2007.
- NEU 2006 Neumärker, I.: Der Toyota Way – eine Philosophie des Erfolges: GD³ und DRBFM als Werkzeuge des Wandels, Seminar Mizenboushi/GD³. Aachen: Eigendruck des WZL, 2006.
- NIE 1997 NiestadtKötter, J.; Westkämper, E.: Methoden vereinfachen. Qualität und Zuverlässigkeit. Carl Hanser Verlag, München, Jahrgang 42, Nr.9, S. 965, 1997.
- O'NE 1992 O'Neal, C. R.; LaFief, W. C.: Marketing's Lead Rolle in Total Quality: Industrial Marketing Management 21 (S. 133-143) 1992.
- PAH 1997 Pahl, G. und W. Beitz: Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung. Berlin [etc.], Springer Verlag, 1997.
- PFE 1994 Pfeifer, T., Tobias, M.: Fehlermanagement – eine unternehmensweite Strategie: Oldenbourg: S. 16-19, 1994.
- PFE 1998 Pfeifer, T.; Dahmen, J.; Gaida, W.: Qualitätsmanagement in der Produktionstechnik – Handlungsschwerpunkte und Perspektiven, in: Werkstatttechnik 88, Nr.5, S. 201-207, 1998.
- PFE 1999 Pfeifer, T.; Lesmeister, F.: Präventive QM-Methoden einfacher gestalten – Ergebnisse einer Umfrage zum Einsatz präventiver QM-Methoden. Qualitäts- und Umweltmanagement, Aachen, 1999.
- PFE 2000 Pfeifer, T.; Lesmeister, F.: Einsatz präventiver QM-Methoden, in: Thomann, H. J.: Der Qualitätsmanagement-Berater – Prozessorientiertes Qualitätsmanagement in der betrieblichen Praxis, S. 7-9, Grundwerk 2000.

- PFE 2001 Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken. 2. Auflage. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2001.
- PFE 2005 Pfeifer, T., Tillmann, M.; In großen Sprüngen. Qualität und Zuverlässigkeit. Aachen: Carl Hanser Verlag, München, Jahrgang 50, 1/2005.
- PIL 1998 Piller, F.: Kundenindividuelle Massenproduktion: Die Wettbewerbsstrategie der Zukunft. München [etc.], Hanser Verlag, 1998.
- PLA 2005 Plato AG: Im Fluss. Qualität und Zuverlässigkeit. Carl Hanser Verlag, München, Jahrgang 50, 4/2005.
- PRO 2001 Proske, A., Körndle, H.; Technische Universität Dresden, Professur für die Psychologie des Lehrens und Lernens, 8. Fachtagung Pädagogische Psychologie, Landau, September 2001.
- PUG 1981 Pugh, S.: Concept selection - a method that works. Proceedings ICED, Rom 1981, S. 497-506
- RED 2002 Redeker G., Keunecke, L: Qualität ist menschlich – Qualitätsmanagement für mengen- und variantenflexible Produktionsendstufen. Qualität und Zuverlässigkeit. Hannover: Carl Hanser Verlag, München, Jahrgang 47, 3/2002.
- RIG 2001 Rigby, D.: Management Tools 2001. Bain & Company Results, Juni 2001.
- SAA 1997 Saatweber, J.: Kundenorientierung durch Quality Function Deployment. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1997.
- SAB 1996 Sabisch, H.: Produkte und Produktgestaltung. In: Kern, W. / Schröder, H.-H. / Weber, J. (Hrsg.): Handbuch der Produktionswissenschaft. 2. Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996.
- SCH 2002 Schukraft, D.: Fehlerbeseitigungsmanagement im Rahmen der Plattformstrategie am Beispiel der Automobilindustrie. Berlin: Univ., Diss. S. 19-20, 2002.
- SCH 2004 Schandl, G. (Winnenden), Schloske, A. (Stuttgart): Idealtypen entwickeln. Qualität und Zuverlässigkeit. Winnenden, Stuttgart: Carl Hanser Verlag, München, Jahrgang 49, 9/2004.
- SCH 2005 Schorn, M.: Wie Toyota von DRBFM profitiert – Entwicklung mit System. MQ Business Excellence. MQ Management und Qualität, 12/2005.

- SCH 2006 Schmitt, R., Krippner, D., Betzold, M.: Geringere Fehlerkosten – höhere Zuverlässigkeit. Qualität und Zuverlässigkeit. Qualität und Zuverlässigkeit. Aachen: Carl Hanser Verlag, München, Jahrgang 51, 6/2006.
- SCH 2007 Schmitt, R., Krippner, D., Hense, K. (Aachen); Schulz, T. (Höhr-Grenzhausen): Keine Angst vor Änderungen. Qualität und Zuverlässigkeit. Qualität und Zuverlässigkeit. Aachen, Höhr-Grenzhausen: Carl Hanser Verlag, München, Jahrgang 52, 2007.
- SCH VDI 2005 Schorn, M.; Kapust, A.: DRBFM – die Toyota-Methode (Qualitätsmanagement). VDI-Z: Ausgabe 147, 07/08 2005.
- SNE 1993 Snee, R.: Creating Robust Work Processes Quality Progress, 02/1993.
- SPE 1991 Specht, G., Schmelzer, H. J.: Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung. Stuttgart: C.E. Poeschel, S.16-21, 1991.
- TAG 1986 Taguchi, G.: Introduction to Quality Engineering. Design Quality into Products and Processes.” Kraus International Publications, White Plains / New York, 1986.
- THE 1997 Theden, P.: Analyse der Rentabilität von Qualitätstechniken – Eine empirische Studie in produzierenden Unternehmen, Berlin: Technische Universität (Dissertation), 1997.
- THE 2002 Theden, P.; Colman, H.: Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) in: Qualitätstechniken – Werkzeuge zur Problemlösung und ständigen Verbesserung (Pocket Power). 3. Auflage, Verlag Hanser, S. 66-89, 2002.
- ULL 1997 Ullmann, D.: The mechanical design process. 2. Auflage. Mc Graw-Hill 1997.
- VDA (1) 2003 VDA – Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie – Sicherung der Qualität während der Produktrealisierung Methoden und Verfahren, System-FMEA, 2. Auflage, 2003.
- VDA (2) 2003 VDA – Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie – Sicherung der Qualität während der Produktrealisierung Methoden und Verfahren, 4. Auflage, 2003.
- VDA (3) 2003 VDA – Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie – Entwicklungsabläufe, 4. Auflage, 2003.
- VDA (4) 2006 VDA – Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie. System-FMEA. Band 4, 2006.
- VDA (5) 2007 VDA: Präventive Qualitätsmanagement-Methoden in der Prozesslandschaft, Auswahl – Anwendung – Nutzen. Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA). Band 14, Frankfurt: 01.05.2007.

- VDI 2221 1993 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Beuth-Verlag, Berlin 1993.
- VDI 2247 1994 Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung. Beuth-Verlag, Berlin 1994.
- WEK 1995 Fehlervermeidung und Fehleranalyse: Qualitätsmanagement – Methoden und Werkzeuge zur Planung und Sicherung der Qualität (nach DIN ISO 9000 ff). Augsburg: WEKA Fachverlag für technische Führungskräfte GmbH, Band 2, Teil 5, 10/1995.

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1: J.D. Power Studien – Vergleich der Jahre 2002 und 2006 [J.D.P. 2002/06]..... | 10 |
| Abb. 2: Anteil der Fahrzeugausfälle im Elektrik- und Elektronikbereich [DUD 2005]..... | 11 |
| Abb. 3: Entwicklungsphasen eines Fahrzeuges [in Anlehnung an VDA (3) 2003] | 14 |
| Abb. 4: Darstellung des Produktentstehungsprozesses [in Anlehnung an ULL 1997] | 16 |
| Abb. 5: Anwendungshäufigkeit ausgewählter vorbeugender QM-Techniken | 22 |
| Abb. 6: Nutzen ausgewählter vorbeugender QM-Techniken | 22 |
| Abb. 7: Schematische Darstellung der Zehnerregel der Fehlerkosten [PFE 2001] | 24 |
| Abb. 8: Bestimmung der Risikoprioritätszahl [VDA (4) 2006] | 25 |
| Abb. 9: Überlappung der FMEA-Arten [DGQ 2001 Band 13-11]..... | 26 |
| Abb. 10: Fehleranalyse innerhalb einer FMEA [WEK 1995] | 27 |
| Abb. 11: Weiterentwicklung der FMEA-Technik [VDA (1) 2003] | 28 |
| Abb. 12: Ablaufschema einer System-FMEA [VDA (1) 2003] | 28 |
| Abb. 13: Erstellung der Systemstruktur bis zur Komponentenebene (1. Schritt)..... | 29 |
| Abb. 14: Erstellung der Funktionsstruktur bis zur Merkmalsebene (2. Schritt)..... | 30 |
| Abb. 15: Beispiel zur Fehlfunktionen in der Systemstruktur (3. Schritt)..... | 30 |
| Abb. 16: Ablaufschema der QFD nach Yoji Akao [AKA 1992]..... | 35 |
| Abb. 17: Ablaufschema der QFD nach Bob King [KIN 1994] | 36 |
| Abb. 18: Ablaufschema der QFD nach ASI | 37 |
| Abb. 19: Hauptschritte der QFD nach ASI [in Anlehnung an THE 2002]..... | 38 |
| Abb. 20: Schritt eins der QFD Technik [SAA 1997] | 40 |
| Abb. 21: Schematischer Ablauf des „House of Quality“ [in Anlehnung an VDA (2) 2003]..... | 41 |
| Abb. 22: QFD als Grundlage weiterführender Methoden [VDA (2) 2003] | 41 |
| Abb. 23: Zielkorridor der Qualitätstechnik DRBFM [KAP 2006]..... | 45 |
| Abb. 24: Elemente der Qualitätstechnik DRBFM [SCH 2007]..... | 47 |
| Abb. 25: Probleme beim Einsatz von Qualitätstechniken [NIE 1997]..... | 54 |
| Abb. 26: Aufbau des Fragenkataloges | 62 |
| Abb. 27: Kriterien zur Strukturierung / Gewichtung von Anforderungen [LIN 2005] | 67 |
| Abb. 28: Einflüsse auf die Produktentwicklung [in Anlehnung an MEI 1999; BLE 1995]..... | 68 |
| Abb. 29: Schnittstellen zwischen angrenzenden Bauteilen | 76 |
| Abb. 30: Beispiel zum Aufbau eines inhaltlichen Spannungsbogens | 81 |
| Abb. 31: Explosionszeichnung einer Bohrmaschine [N.N. 2007]..... | 88 |
| Abb. 32: Ausschnitt aus der Produktstruktur einer Bohrmaschine..... | 89 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tab. 1: Unterscheidung von Konstruktionsaufgaben [FRÖ 1996] | 15 |
| Tab. 2: Einsetzbarkeiten und Zielsetzungen vorbeugender QM-Techniken..... | 20 |
| Tab. 3: Unterscheidung von FMEA-Arten [GÖB 2003] | 26 |
| Tab. 4: Vergleich der QFD-Ansätze nach Akao, King und ASI..... | 42 |
| Tab. 5: Defizite der vorbeugenden QM-Techniken FMEA, QFD, DRBFM..... | 53 |
| Tab. 6: Entscheidungsfindung offenes vs. gebundenes Antwortformat | 58 |
| Tab. 7: Fragestellungen für die Konstruktion | 66 |
| Tab. 8: Einflussparameter der Erfahrungssicherung auf die Produktqualität | 73 |
| Tab. 9: Fragestellungen für die Fertigung..... | 78 |
| Tab. 10: Fragestellungen für die Montage | 80 |
| Tab. 11: Vergleich der QM-Technik Fragenkatalog zur DRBFM..... | 86 |
| Tab. 12: Fragestellungen für die Konstruktion am Beispiel der Bohrmaschine..... | 92 |
| Tab. 13: Fragestellungen für die Fertigung am Beispiel der Bohrmaschine | 95 |
| Tab. 14: Fragestellungen für die Montage am Beispiel der Bohrmaschine..... | 96 |

Anhang

Anhang 1: Aufbau des Fragenkataloges

| Produktentstehung | Fragestellung | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? |
|---|---|--|---|
| Fragestellungen für die Konstruktion | Anforderungsanalyse | Welche Schlussfolgerungen ergeben sich bei der Erstellung einer Anforderungsanalyse für das neue Produkt? Welche mit den am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereichen (Fertigung, Logistik, Lieferanten, etc.) sind mit involviert? Wie gestaltet sich die Teambzusammenstellung? | |
| | | Was ergibt eine Systemanalyse des Vorgängers (Innovationsgrad des Vorgängers) oder Wettbewerbers? Wie sieht dazu eine Stärken-Schwächen-Analyse aus? | |
| | | Welche Alleinstellungsmerkmale des Produktes, die eine präventive Absicherung bzgl. potentieller Fehler verlangen, gibt es? | |
| | Entw. von Produkten in interdisziplinären Teams | In welcher Form finden Teamgespräche mit allen am Entwicklungsprozess beteiligten Bereichen statt? Wie setzen sich diese interdisziplinären Teams zusammen? | |
| | Verwendung bewährter Lösungskonzepte | Wie wird bei der Entwicklung auf eine Wiederverwendung möglichst vieler bewährter Produktentwicklungen und Konzepte geachtet? Wo treten ähnliche Lösungen auf? | |
| | | Wie konnte die Beherrschung der Technologie bereits unter Serienbedingungen nachgewiesen werden? Welche Lösungsalternativen gibt es, die eine Vermeidung von Fehlern ermöglichen? | |
| | | Wie werden die Produktinnovationen auf mögliche potentielle Fehler untersucht? Wie werden diese mit vorbeugenden Maßnahmen versehen? | |
| | | Wie ist eine Übernahme existierender Lösungen geplant? Was ergibt die dazu durchgeführte Variantenanalyse? Welche Varianten gibt es? | |
| | Erfahrungssicherung innerhalb des Produktentstehungsprozesses | Inwieweit werden Erfahrungen zur Reduzierung entwicklungs- und planungsbegleitender Fehler eingesetzt (Erfahrungssicherung)? Wo finden Rückmeldungen aus Produkterfahrungen des Vorgängers Berücksichtigung? Wie erfolgt eine Erfahrungssicherung? | |
| | | Wie kann trotz Innovation die Funktionalität abgesichert werden? Wo sind Auswirkungen der Innovation(en), wie z. B. mangelnde Erfahrungen, auf die Produktherstellung möglich? | |
| Wie werden redundante Lösungen zur präventiven Absicherung vorgehalten? | | | |
| Wie wird eine Integration von Produktüberlegungen zur Erreichung der Null-Fehlerqualität bereits in der frühen Entwicklungsphase zur sofortigen Fehleraufdeckung vorgenommen (Poka Yoke)? Wie werden Untersuchungen zu möglichen äußeren Einflüssen (EMV, gesetzliche Anforderungen, etc.) durchgeführt? Welche Qualitätstechniken, z. B. Fischgrätendiagramm, werden dazu verwendet? | | | |
| Wahl der Konstruktionsart | Welche Synergieeffekte sind innerhalb der Konstruktion geplant? Aufgrund welcher Prämissen wird eine Konzeptauswahl (auch hinsichtlich Neuentwicklung, Weiterentwicklung, Übernahme) durchgeführt? Wie erfolgt eine Gegenüberstellung der möglichen Alternativen? Welche robusten Alternativlösungen sind vorgesehen? Wie hoch ist der Anteil der Standardisierung? | | |
| Fehlervermeidung | Wie wird sichergestellt, dass ein Großteil der Entwicklungskapazität in die kritischen Aspekte des Produktes fließt? Wie gestaltete sich dies? | | |
| Schnittstellen, Wechselwirkungen | Welche Wechselwirkungen (mechanisch, geometrisch, elektr(on)isch) sind zwischen den angrenzenden Komponenten und Systemen mit dem Ziel der Funktion des Gesamtsystems bekannt? Wie wird sichergestellt, dass alle betroffenen Systemschnittstellen berücksichtigt werden? | | |
| | Welche evtl. Auswirkungen auf weitere Funktionen sind zu befürchten? Wie werden mögliche Fehler bereits in der frühen Entwicklungsphase des Produktes abgesichert? | | |
| Fragestellungen für die Fertigung | Fertigungsfähigkeit des Produktes | Durch welche Maßnahmen wird die Produktqualität im Fertigungsprozess abgesichert? Wie kann dadurch eine fehlerfreie Fertigung des Produktes vor dem Hintergrund von Null-Fehlerqualität garantiert werden? Welche Maßnahmen wurden dazu getroffen, dass die Fertigungsfähigkeit des Produktes als prozesssicher angesehen werden kann? | |
| | | Auf welche Weise können mehrere Bauteile an ein und derselben Maschine produziert werden? Wo wird dies durch ein Variantenreduzierungskonzept (z. B. Modulbauweise, Gleichteile, Baukasten, etc.) in der frühen Entwicklungsphase des Produktes berücksichtigt? Welche Erfahrungswerte gibt es in diesem Zusammenhang? | |
| | | Wie hat sich der Wissensaustausch zwischen Produktentwicklung und Fertigung gestaltet? | |
| | | Welche Cost-Down-Maßnahmen gibt es? Welchen Einfluss haben diese auf die Prozessfähigkeit der Produktentwicklung? Was ergibt die dazu durchgeführte Risikoanalyse? | |
| Fragestellungen für die Montage | Montagefähigkeit des Produktes | Wie werden aufgrund von Erfahrungswerten mögliche Montageprobleme vermieden? Wie kann dadurch die Montagefähigkeit des Produktes sichergestellt werden? | |
| | | Welche besonderen Hilfsmittel (Einbauhilfen) sind zur Montage notwendig? Wie wird dadurch eine Reduzierung von Fehlern erreicht? | |
| | | Wie und in welchem Umfang wird der Montagepartner in die Montagefähigkeit des Produktes mit einbezogen? Wie gestalten sich die Verantwortungsbereiche? Welche erforderlichen Schnittstellenpartner gibt es? | |
| | | Wie wird durch Maßnahmen innerhalb des logistischen Ablaufes eine erhöhte Absicherung der Montierbarkeit erreicht? | |

Anhang 2: Fragenkatalog am Beispiel einer Bohrmaschine

| Produktentstehung | Fragstellung | Antwort | Durch welche Maßnahmen wurde die Fehlervermeidung erreicht? | |
|--|---|---|--|--|
| Fragstellungen für die Konstruktion | Anforderungsanalyse | Welche Schlussfolgerungen ergeben sich bei der Erstellung einer Anforderungsanalyse für das neue Produkt? Welche mit den am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereichen (Fertigung, Logistik, Lieferanten, etc.) sind mit involviert? Wie gestaltet sich die Teamzusammenstellung? | höhere Drehmomente verringern die Lebensdauer des Zahnrades; Bereiche im Team: Entwicklung, Fertigung, Montage, Einkauf, Logistik, Qualität, Lieferanten | Stärken-Schwächen-Analyse der Verzahnung anderer Wettbewerber |
| | | Was ergibt eine Systemanalyse des Vorgängers (Innovationsgrad des Vorgängers) oder Wettbewerbers? Wie sieht dazu eine Stärken-Schwächen-Analyse aus? | Wettbewerber weist höhere Werte bei Dauerbelastungstests auf | Stärken-Schwächen-Analyse |
| | | Welche Alleinstellungsmerkmale des Produktes, die eine präventive Absicherung bzgl. potentieller Fehler verlangen, gibt es? | unüblicher Wellendurchmesser | Angleichen des Wellendurchmessers |
| | Enw. von Produkten in interdisziplinären Teams | In welcher Form finden Teamgespräche mit allen am Entwicklungsprozess beteiligten Bereichen statt? Wie setzen sich diese interdisziplinären Teams zusammen? | Gespräche mit erfahrenen Vertretern der Bereiche Entwicklung, Fertigung und Montage | Stückliste zur Identifizierung der Fehlerursachen: Verzahnungsgeometrie führt zur Geräuschbildung der Bohrmaschine |
| | | Verwendung bewährter Lösungskonzepte | Wie wird bei der Entwicklung auf eine Wiederverwendung möglichst vieler bewährter Produktentwicklungen und Konzepte geachtet? Wo treten ähnliche Lösungen auf? | Verwendung eines bewährten Serienzahnrades, welches höhere Drehmomente überträgt |
| | Wie konnte die Beherrschung der Technologie bereits unter Serienbedingungen nachgewiesen werden? Welche Lösungsalternativen gibt es, die eine Vermeidung von Fehlern ermöglichen? | | Dauerbelastungstests des Zahnrades gewährt hohe Lebensdauer | Wiederverwendung von Erfahrungswerten |
| | Wie werden die Produktinnovationen auf mögliche potentielle Fehler untersucht? Wie werden diese mit vorbeugenden Maßnahmen versehen? | | Involvieren von Fertigung und Montage | Identifizieren/Vermeiden von Fehlerursachen durch Belastungstests des Zahnrades |
| | Wie ist eine Übernahme existierender Lösungen geplant? Was ergibt die dazu durchgeführte Variantenanalyse? Welche Varianten gibt es? | | Analyse der verschiedenen Varianten | Standardisierung, Modularisierter Aufbau der Bohrmaschine |
| | Erfahrungssicherung innerhalb des Produktentstehungsprozesses | Inwieweit werden Erfahrungen zur Reduzierung entwicklungs- und planungsbegleitender Fehler eingesetzt (Erfahrungssicherung)? Wo finden Rückmeldungen aus Produkterfahrungen des Vorgängers Berücksichtigung? Wie erfolgt eine Erfahrungssicherung? | Dokumentation des Entwicklungsfortschrittes im Fragenkatalog; Rückmeldungen durch Befragung vorheriger Konstrukteure | Nutzung des Fragenkataloges; Durchführung einer Risikoanalyse |
| | | Wie kann trotz Innovation die Funktionalität abgesichert werden? Wo sind Auswirkungen der Innovation(en), wie z. B. mangelnde Erfahrungen, auf die Produktherstellung möglich? | Durchführen zahlreicher Dauertests; keine Auswirkungen vorhanden, da Übernahme des Zahnrades | Teamarbeit, Standardisierung der Schnittstellen |
| | | Wie werden redundante Lösungen zur präventiven Absicherung vorgehalten? | Verwendung des alten Zahnrades | nicht zutreffend |
| | | Wie wird eine Integration von Produktüberlegungen zur Erreichung der Null-Fehlerqualität bereits in der frühen Entwicklungsphase zur sofortigen Fehleraufdeckung vorgenommen (Poka Yoke)? | Integration von Vertauschsicherungen in den Fertigungs- und Montageablauf | Poka Yoke |
| | | Wie werden Untersuchungen zu möglichen äußeren Einflüssen (EMV, gesetzliche Anforderungen, etc.) durchgeführt? Welche Qualitätstechniken, z. B. Fischgräten-diagramm, werden dazu verwendet? | nicht zutreffend | nicht zutreffend |
| | Wahl der Konstruktionsart | Welche Synergieeffekte sind innerhalb der Konstruktion geplant? Aufgrund welcher Prämissen wird eine Konzeptauswahl (auch hinsichtlich Neuentwicklung, Weiterentwicklung, Übernahme) durchgeführt? Wie erfolgt eine Gegenüberstellung der möglichen Alternativen? Welche robusten Alternativlösungen sind vorgesehen? Wie hoch ist der Anteil der Standardisierung? | Weiterentwicklung der Bohrmaschine; Benchmarks im eigenen Unternehmen; Anteil an Standardisierung ca. 65% | Standardisierung |
| | Fehlervermeidung | Wie wird sichergestellt, dass ein Großteil der Entwicklungskapazität in die kritischen Aspekte des Produktes fließt? Wie gestaltete sich dies? | Konzentration der Ressourcen auf die konstruktive Änderung des Zahnrades; Erweiterung des Entwicklungsteams | erfolgreiche Dauertest konnten die Übertragung des höheren Drehmomentes nachweisen |
| | | Schnittstellen, Wechselwirkungen | Welche Wechselwirkungen (mechanisch, geometrisch, elektr(on)isch) sind zwischen den angrenzenden Komponenten und Systemen mit dem Ziel der Funktion des Gesamtsystems bekannt? Wie wird sichergestellt, dass alle betroffenen Systemschnittstellen berücksichtigt werden? | Schnittstelle zwischen Zahnrad und Ritzel weist mechanische Wechselwirkung auf |
| | Welche evtl. Auswirkungen auf weitere Funktionen sind zu befürchten? Wie werden mögliche Fehler bereits in der frühen Entwicklungsphase des Produktes abgesichert? | | keine; Dauerbelastungstest | Dauertests |
| | Fragstellungen für die Fertigung | Fertigungsfähigkeit des Produktes | Durch welche Maßnahmen wird die Produktqualität im Fertigungsprozess abgesichert? Wie kann dadurch eine fehlerfreie Fertigung des Produktes vor dem Hintergrund von Null-Fehlerqualität garantiert werden? Welche Maßnahmen wurden dazu getroffen, dass die Fertigungsfähigkeit des Produktes als prozesssicher angesehen werden kann? | Schaffung eines hohen Automatisierungsgrades; Einsatz von Poka Yoke; |
| Auf welche Weise können mehrere Bauteile an ein und derselben Maschine produziert werden? Wo wird dies durch ein Variantenreduzierungskonzept (z. B. Modulbauweise, Gleichteile, Baukasten, etc.) in der frühen Entwicklungsphase des Produktes berücksichtigt? Welche Erfahrungswerte gibt es in diesem Zusammenhang? | | | Fließfertigung (standardisierte Fertigung); Fertigung von Modulen | Standardisierung; Modulbauweise |
| Wie hat sich der Wissensaustausch zwischen Produktentwicklung und Fertigung gestaltet? | | | Review-Gespräche konnten den Wissenstransfer zwischen Konstruktion und Fertigung gewährleisten. Es konnten Erfahrungen in die derzeitige Konstruktion integriert werden. | Teamzusammenführung, Diskussion und Maßnahmendefinition bzgl. des Aufbaus derzeitiger Module |
| Welche Cost-Down-Maßnahmen gibt es? Welchen Einfluss haben diese auf die Prozessfähigkeit der Produktentwicklung? Was ergibt die dazu durchgeführte Risikoanalyse? | | | höhere Stückzahlfertigung des Lieferanten; Fertigung der Zahnräder im Ausland | Durchführen einer Risikoanalyse |
| Fragstellungen für die Montage | Montagefähigkeit des Produktes | Wie werden aufgrund von Erfahrungswerten mögliche Montageprobleme vermieden? Wie kann dadurch die Montagefähigkeit des Produktes sichergestellt werden? | enge Zusammenarbeit von Entwicklung und Montage | Job Rotation |
| | | Welche besonderen Hilfsmittel (Einbauhilfen) sind zur Montage notwendig? Wie wird dadurch eine Reduzierung von Fehlern erreicht? | Konstruktive Gestaltung von Vertauschsicherungen | Vertauschsicherungen |
| | | Wie und in welchem Umfang wird der Montagepartner in die Montagefähigkeit des Produktes mit einbezogen? Wie gestalten sich die Verantwortungsbereiche? Welche erforderlichen Schnittstellenpartner gibt es? | Erfahrungsaustausch zwischen Konstruktion und Montage | Wissensaustausch |
| | | Wie wird durch Maßnahmen innerhalb des logistischen Ablaufes eine erhöhte Absicherung der Montierbarkeit erreicht? | Ein neues Logistik-Konzept und der Umbau einer Fertigungsstraße gewährleistet ein Null-Fehlerkonzept. | JIT- / JIS-Anlieferungen |

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Lars Henze
Geburtsdatum: 02.12.1974
Geburtsort: Wismar
Wohnort: 80935 München, Azaleenstr. 40
Staatsangehörigkeit: deutsch

Werdegang

| | | |
|-----------------------|-------------------|--|
| Studium: | 10/1996 – 02/2002 | Fachhochschule München Fakultät: Maschinenbau |
| Praktika: | 02/2002 – 07/2002 | BMW AG, Werk Spartanburg (USA) |
| Studium: | 10/2002 – 09/2004 | Technische Universität München Fakultät: Wirtschaftswissenschaften |
| Berufliche Tätigkeit: | seit 01/2005 | BMW Group München |
| Lehrtätigkeit: | seit 10/2005 | Lehrbeauftragter der Hochschule München Fakultät: Maschinenbau, Fahrzeugtechnik |
| Promotion: | seit 10/2006 | Technische Universität Chemnitz Fakultät: Maschinenbau Institut: Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung |

München, den 13. Januar 2008

Lars Henze

