

Statistische

Methoden der Qualitätssicherung

Für Fach- und Führungskräfte aus
Entwicklung - Produktion / Fertigung
und QA

PROZESSE NACHHALTIG VERBESSERN

QUALITÄT STEIGERN

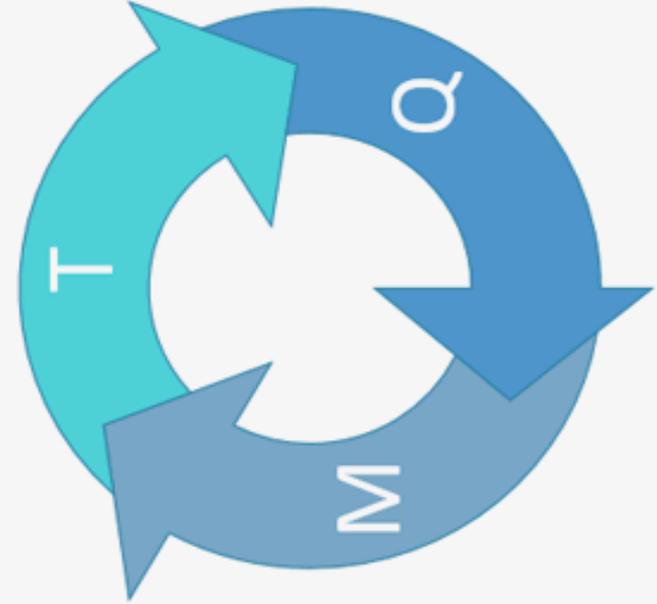
PRODUKTE EFFIZIENT ENTWICKELN

Dr. (oec) Dipl.-Ing. (Chemie)

Karl-Heinz Elsässer cert. LSS BB

Total

- Bereichs- und Funktionsübergreifend
- Kundenorientierung
- Mitarbeiterorientierung
- Gesellschaftsorientierung



Quality

- Arbeitsqualität
- Prozessqualität
- Produktequalität
- Informationsqualität
- Unternehmensqualität
- Umweltqualität

Management

- Führungsqualität
- Qualitätspolitik und -ziele
- Umweltpolitik und -ziele
- Ökologieorientierung
- Team- und Lernfähigkeit
- Kommunikationsfähigkeit

Vorwort

Die Anforderungen der Industrie haben sich in den letzten Jahren gewaltig erhöht: Die Produktion soll weiter automatisiert und beschleunigt werden bei gleichzeitiger Steigerung der Prozess- und Produktqualität.

Parallel dazu müssen rechtliche Vorgaben, wie z. B. die Rückverfolgbarkeit von Produkten und ihren Bestandteilen, erfüllt werden, so dass die Visualisierung und Dokumentation von Produktionsprozessen eine immer größere Rolle spielen. Und das alles sowohl in rauen Industrieumgebungen als auch unter Reinraumbedingungen.

Die Qualitätssicherung kann daher eine Schlüsselfunktion für ein Unternehmen spielen, denn hier treffen "hard facts" wie Entwicklungs- und Produktionskompetenz auf "soft facts" wie Design und Image.

Mit dem vorliegenden Buch wird das Ziel verfolgt, dem Leser mehrere Verfahren / Methoden der Qualitätssicherung auf der Basis statistischer Grundlagen nahe zu bringen.

Das Buch eignet sich sowohl für Studierende an Hochschulen wie auch den Praktiker, der sich täglich in seiner betrieblichen Praxis mit Qualitätsfragen beschäftigt. Die Inhalte der Buches beruht auf langjähriger Erfahrung aus Lehr- und Consultingtätigkeit in Statistik, Qualitätssicherung und statistischer Versuchsplanung sowie Lean Six Sigma in verschiedensten Unternehmen.

Die Einleitung des Buches beschäftigt sich mit der Erklärung und Definition des Begriffes Qualität. In den folgenden Abschnitten und Kapiteln werden dann die verschiedenen Methoden der Qualitätssicherung wie

Quality Function Deployment (QFD) - House of Quality

Fehler- Möglichkeit – und Einfluss- Analyse (FMEA)

Statistische Versuchsplanung (DoE) - Taguchi / Shainin – Philosophie - RSM

Statistische Prozesskontrolle (SPC) - Control Charts für Variablen - Control Charts für Qualitätsmerkmale - Fähigkeits- Analyse von Prozess- und Mess- Systemen sowie Fähigkeits- Analyse von Mess-Systemen

vertieft abgehandelt und anhand zahlreicher Beispiele näher gebracht.

Meerbusch, im November 2015

Karl-Heinz Elsässer

Inhalt

Einleitung	1	3.2.2	Funktionsanalyse	25
Was ist Qualität und warum Qualität ?	1	3.2.3	Fehleranalyse	25
Qualität als Wettbewerbsfaktor	2	3.2.4	Maßnahmenanalyse	26
Qualität als Kostenfaktor	3	3.3	Entscheid über Maßnahmen	30
Methoden zur Produkt-/Prozessentwicklung	5	3.4	Umsetzung	30
		3.5	Kommunikation	32
		4.	Beispiel zur FMEA	32
Abschn. 1				
	Quality Function Deployment			7
Kap. 1		Abschn. 3		
	House of Quality		Prozess Design und Verbesserung mit statistischer Versuchsplanung	49
1.	Die 4- Phasen der QFD – Methode			
2.	House of Quality	Kap. 3.1		
3.	Beispiele zu QFD / House of Quality		Robust Design (Taguchi / Shainin - Philosophie)	50
4.	Zusammenfassung	1.	Einführung	50
		2.	Grundlegendes zu Quality- Eng.	51
		2.1	Qualitätsverluste	51
		2.2	Qualitätsfunktion	53
		2.3	prozessbezogener Qualitätsverlust	54
		3.	Taguchi Versuchspläne	56
		Kap. 3.2		
			Prozessoptimierung mit Hilfe von Versuchsplänen	62
		1.	Einführung / RSM	62
		2.	Methode des steilsten Anstiegs	65
		3.	Analyse des Response Surface mit Modell zweiter Ordnung	66
		3.1	Lage des stationären Punktes	67
		3.2	Charakterisierung der Resp.– Oberfläche	68
		3.3	Untersuchung mehrerer Responses	69
Abschn. 2				
	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)			20
1.	Einführung			20
2.	Arten der FMEA			20
3.	Methode und Phasenmodell der FMEA (DAMUK)			21
3.1	Definition			22
3.1.1	Vorbereitung der FMEA			22
3.1.2	Aufgabenverteilung unter den Teammitgliedern			23
3.2	Analyse			23
3.2.1	Strukturanalyse			24

Inhalt (Forts.)

4.	Versuch – Designs	73
4.1	Experimentelle Designs für Modelle erster Ordnung	74
4.2	Experimentelle Designs für Modelle zweiter Ordnung	75
5.	Beispiele zu RSM	76
5.1	Beispiel 1	76
5.2	Beispiel 2	82

Abschn. 4

	Methoden der Statistischen Prozesskontrolle (SPC) und Fähigkeits- Analyse	86
--	--	----

Kap. 4.1

	Methoden und Philosophie der Statistischen Prozesskontrolle (SPC)	87
1.	Einleitung	87
2.	Ursachen der Qualität – Streuung	88
3.	Statistische Konzepte der Control Charts	89
3.1	Wahl der Kontroll- Limits UCL und LCL	91
3.2	Probenfrequenz und Probenumfang	93
3.3	Analyse der Struktur von Control charts	94
4.	Die übrigen „Sieben Untertools“	96
4.1	Check Sheet	96
4.2	Pareto Chart	98
4.3	Ursachen – Wirkung – Diagramm	100
4.4	Implementierung von SPC	101

Kap. 4.2

	Control Charts für Variablen	103
1.	Einleitung	
2.	x_{quer} - und R Control Chart	103
2.1.	Statistische Grundlagen	103
3.	Entwicklung und Gebrauch von x_{quer} - und R Control Charts	105
3.1	Guidelines zur Erstellung von x_{quer} - und R - Control Charts	109
4.	x_{quer} - und S Control Charts	110
4.1	Erstellen eines x_{quer} - und S Control Charts	110

Kap. 4.3

	Control Charts für Qualitätsmerkmale	114
1.	Einleitung	114
2.	Control Chart nicht konformer Anteile	114
2.1	Entwicklung des p- Charts	115
2.2	Die c- Prozessregelkarte	123
3.	Die „richtige Auswahl von Control Charts	124
3.1	x_{quer} / R – Control Charts oder x_{quer} / S - Charts	124
3.2	p-Charts, c- Charts	124
4.	Aktionen zur Verbesserung der Prozesse	124

Kap. 4.4

	Fähigkeits – Analyse von Prozess- und Mess- Systemen	126
1.	Einleitung	126

Inhalt (Forts.)

2.	Prozessfähigkeits- Analyse mit Histogrammen und Fähigkeitsplots	128
2.1	Histogramme	128
2.2	Wahrscheinlichkeitsplots	130
3.	Prozessfähigkeits- Analyse mit Kennzahlen	131
3.1	C_p als Kennzahl	131
3.1.1	Kennzahl c _{pu} und c _{po} (c _{pu} , c _{pl})	132
3.1.2	Kennzahl c _{pk} (PCR für „außerhalb des Mittelwerts“ Prozesse)	134
4.	Fähigkeits- Analyse von Mess- Systemen	135
4.1.	Control charts und tab. Methoden	135
4.1.1	Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit	137
4.2.	Auf der Varianzanalyse basierende Methoden	140
A	Anhang	143
A.1	Kumulierte Standard Normal Verteilung	144
A.2	Anteilspunkte der χ^2 – Verteilung	145
A.3	Anteilspunkte der t- Verteilung	146
A.4	Faktoren zur Erstellung von Control Charts für Variablen	147
	Literaturverzeichnis	148
	Stichwortverzeichnis	150

Einleitung

All Ihre Produktions- und Fertigungsprozesse sind stabil, die Abläufe aufeinander abgestimmt und optimal. Die Qualität Ihrer Produkte ist konstant und jedes Teil verlässt den Prozess so wie spezifiziert und vom Kunden gewünscht.

Sie haben somit keine Verschwendung.

Ihre einzige Verschwendung besteht dann darin, dieses Buch gekauft zu haben

Was ist Qualität und warum Qualität ? [1] [2] [3] [4]

Die Qualität gehört schon seit dem griechischen Philosophen Aristoteles (* 384 v. Chr. - † 322 v. Chr.) zu den grundlegenden philosophischen Kategorien (Ort, Zeit, usw.). Seitdem sind die unterschiedlichsten Auffassungen über Qualität entstanden. Eine Definition von Qualität, die klar, präzise und eindeutig ist, gibt es nicht. Im Laufe der Zeit entstanden immer neue Definitionen und Anschauungen zum Begriff „Qualität“. Im Brockhaus aus dem Jahre 1959 war der Begriff noch einfach als „Wertstufe, Güte, Eigenschaft“ definiert. Es wird bei dieser Diskussion nicht berücksichtigt, dass Qualität kein absoluter Begriff, sondern eigentlich nur eine wertfreie Beschreibung der Beschaffenheit ausdrückt.

Erst mit einem Vergleich unterschiedlichster Produktmerkmale und – Eigenschaften ist ein Urteil bezüglich der Qualität möglich. Die Europäische Norm DIN EN ISO 8402 definiert Qualität als „Die Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“. Zahlreiche Qualitätsphilosophen äußern sich zum Thema Qualität mit zum Teil visionären und zum Teil mit anschaulichen Gedanken:

Feigenbaum: „If [the quality] is based upon the customers actual experience with the product or service, measured against his or her requirements ...“.

Juran: „Fitness for use“ (Gebrauchstauglichkeit) oder
after beeing shipped, other than any losses caused by it’s intrinsic functions“.

Weitere pragmatische Aussagen zum Qualitätsbegriff, die immer wieder in Publikationen genannt werden, lauten:

Qualität ist kein Ding, sondern ein Vorgang.

Qualität ist die Erfüllung der Kundenwünsche.

Qualität ist, wenn der Kunde wiederkommt, nicht aber die Ware ...

Folgende Grundsätze ergeben sich somit aus dem Qualitätsbegriff:

„Qualität ist nichts Absolutes, sondern stets die Beschaffenheit einer Einheit in Bezug auf gegebene Erfordernisse und vorgegebene Forderungen.

Qualität ist keine physikalische Größe, sie ist also nicht messbar. Messbar ist allenfalls der Grad der Erfüllung von Einzelforderungen.

Man kann einer Einheit nicht das Vorhandensein bzw. Fehlen von Qualität attestieren. Vielmehr sind alle Ausprägungen zwischen „sehr gut“ und „sehr schlecht“ möglich“

Die Aussagen belegen, wie subjektiv der Begriff „Qualität“ sein kann. Es wird immer ein Versuch bleiben, den Begriff durch eine Norm einheitlich zu interpretieren

Qualität als Wettbewerbsfaktor

Den Markterfolg eines Unternehmens bestimmen Kunden dadurch, inwieweit ein Problem durch eine Angebotene Dienstleistung oder ein Produkt gelöst wird. Wettbewerbsentscheidende Faktoren sind dabei der richtige Liefertermin, ein angemessener Preis sowie die Qualität. Einen immer höheren Stellenwert nimmt bei diesen drei Anforderungen die Qualität ein, die somit immer häufiger über den Markterfolg entscheidet. Diese Aussage kann durch ein Zitat von *Frederick Henry Royce*³ untermauert werden, der sagte

„*Quality exists, when the price is long forgotten!*“.

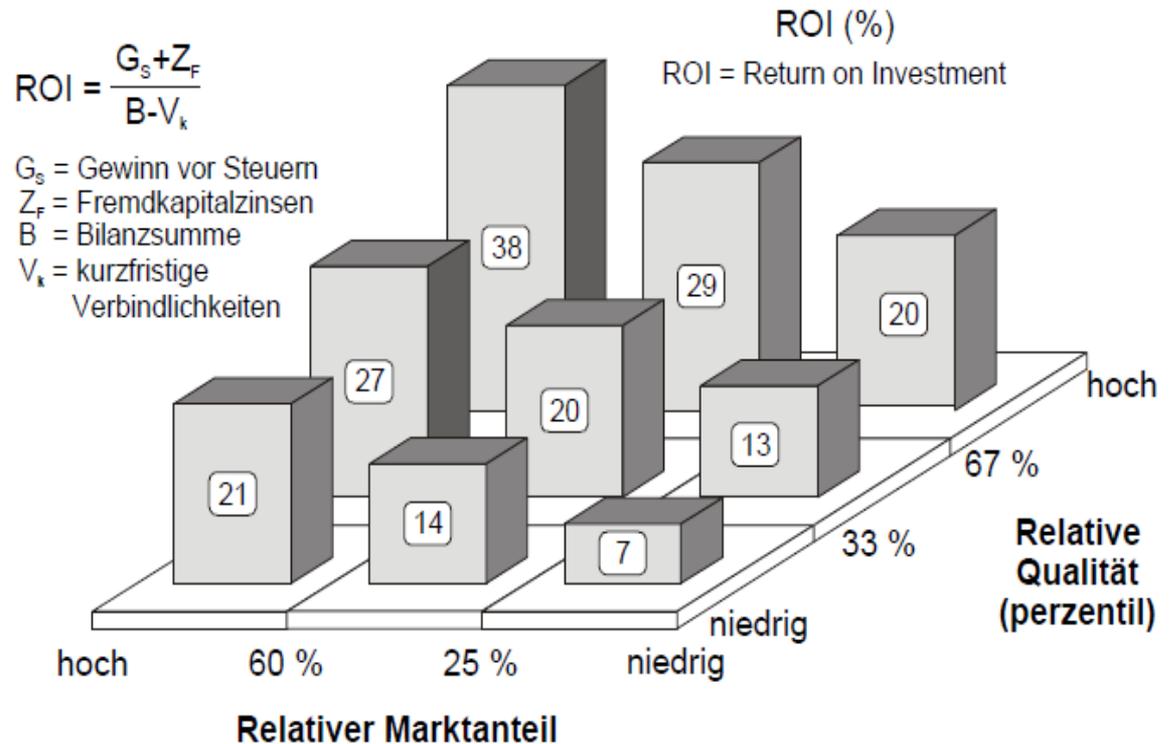
Die heutigen Käufermärkte weisen eine starke Tendenz zu kundenspezifischen Lieferungen und Leistungen einer zunehmenden Verantwortung für den effektiven Nutzen des Produktes auf. Begründet werden können diese erhöhten Qualitätsanforderungen durch die Marktentwicklung, die Gesetzgebung und des Umweltschutzes.

Qualität als Kaufmotiv hat einen erheblichen Einfluss auf die am Markt zu erzielenden Preise, wie aus der sogenannten PIMS-Studie des Strategic Planning Institute (SPI), Cambridge, USA, hervorgeht

In Abb. rechts sind Ergebnisse der PIMS-Analyse [5] aufgetragen, die den Return on Investment (ROI) als Messgröße für den erzielenden Preis am Markt über den Relativen Marktanteil und der relativen Qualität zeigt.

Hieraus ist zu ersehen, dass eine hohe relative Qualität unabhängig vom relativen Marktanteil einen erhöhten Return on Investment liefert.

Somit ist durch eine Qualitätsführerschaft in einem bestimmten Marktsegment eine deutlich erhöhte Preispolitik gegenüber Mitbewerbern zulässig.



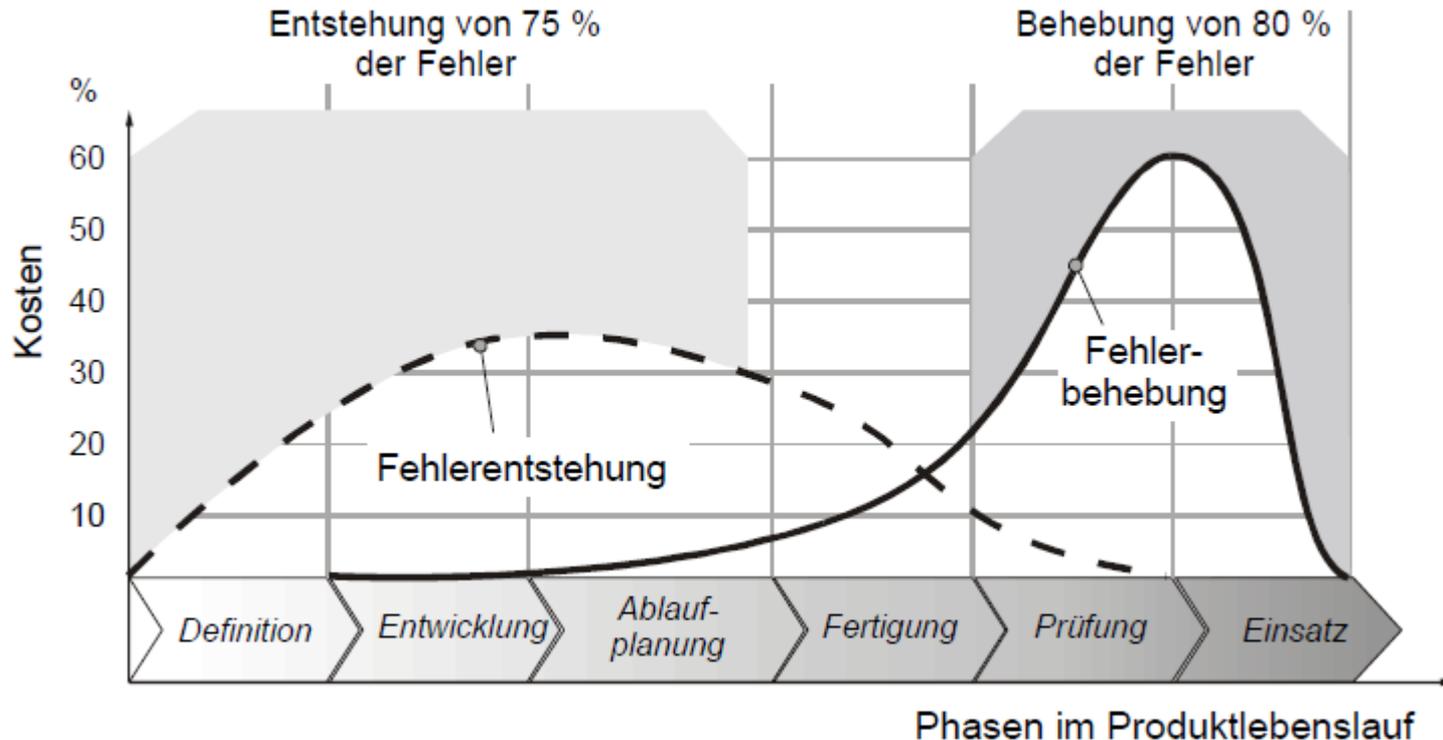
Qualität als Kostenfaktor

Qualitätskosten *) haben sich bei produzierenden Unternehmen Europas als drittgrößte Kostenart nach den Materialkosten und den Personalkosten herauskristallisiert. Neben dem Wettbewerbsfaktor Qualität zeigt sich, dass Qualität auch gleichzeitig einen erheblichen Kostenfaktor darstellt.

*) „Kosten, die vorwiegend durch Qualitätsforderungen entstehen, d.h. Kosten, die durch Qualitätsprüfungen sowie durch interne oder extern festgestellte Fehler verursacht werden“ (DIN55350a).

Der Hauptteil dieser Kosten entsteht durch Fehler in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses, d.h. in der Planungs- und Entwicklungsphase

Der Abb. rechts ist zu entnehmen, dass dies ca. 75 % ausmacht. Die Behebung der Fehler erfolgt jedoch zu 80 % erst in der Fertigung, bei der Endprüfung oder während des Einsatzes des Produktes beim Kunden. Je später die Behebung erfolgt, desto höher ist der finanzielle Aufwand, da sich die Fehlerbeseitigung von Phase zu Phase ca. verzehnfacht. Ziel muss es sein, mit dem Kosteneinsparungspotential der Prüfmaßnahmen die Qualität zu verbessern. Dies erfordert allerdings neue Strategien innerhalb der Qualitätssicherung, nämlich Qualität nicht zu prüfen, sondern Qualität zu produzieren.



3.1.1 Vorbereitung der FMEA

Schon am Anfang der Produktentwicklung sollten vom Entwickler oder Planer die Systemfunktionen zusammengestellt werden. In der ersten Teamsitzung sind alle organisatorischen Fragen, wie Dauer des FMEA,- Projekts, der Turnus der Sitzungen sowie die terminliche Einbindung in das Gesamtprojekt zu klären.

Folgend aufgeführte Arbeitsunterlagen sind notwendig (können je nach Aufgabe etwas abweichen)

Projektterminplan, Spezifikationen in ausreichendem Detaillierungsgrad, wie beispielsweise Lastenheft, Zeichnungen, System- oder Funktionsbeschreibungen, Komponenten, Vernetzungen mit anderen Systemen, gesetzliche und behördliche Vorschriften, Kundenvorschriften, Vorgaben von Qualitätszielen, Produkt/Prozess – Sicherheitskonzept usw.

Stücklisten, Fertigungspläne, Montage- und Prüfpläne

Ergebnisse aus vorangegangenen FMEA's (Gefahrenanalyse, FTA, QFD)

Spezifische FMEA – Bewertungstabellen

Es versteht sich, dass sämtliche zur FMEA verwendeten Arbeitsunterlagen dem neuesten Stand zu entsprechen haben.

3.1.2 Aufgabenverteilung unter den Teammitgliedern

Startend mit den höheren Systemebenen werden die Schnittstellen zu tieferen Systemebenen definiert. Dies ermöglicht eine klare Aufgabenverteilung unter den FMEA- Mitgliedern. Die Systemelemente an den Schnittstellen werden gemeinsam erarbeitet und abgestimmt. Die Bearbeitung der Schnittstellen in der FMEA liegen in der Zuständigkeit der Kunden (intern oder extern)

Wird die FMEA gemeinsam von Lieferant und Kunde erarbeitet, wie dies beim Betrachten von Schnittstellen vorteilhaft ist, ist diese FMEA gemeinsames Gut, und die Ergebnisse stehen beiden Parteien zur Verfügung. Generell werden FMEA's von Lieferanten über die Schnittstellenbereiche hinaus nicht an den Kunden übergeben.

3.2 Analyse

Die Produkt- FMEA untersucht im Wesentlichen die Funktionstauglichkeit des Gesamtsystems und das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten untereinander. Dazu kommen auch die Untersuchung von Eigenschaften bzw. Merkmale von Bauteilen hinsichtlich ihrer Eignung zur Erfüllung der Bauteilfunktionen.

Die Prozess- FMEA untersucht hingegen ganzheitlich den Gesamtprozess sowie das Zusammenwirken der Teilprozesse unter Beachtung der verschiedenen Prozesseinflussgrößen. Es werden Eigenschaften / Merkmale von Prozessen und deren Abläufe hinsichtlich ihrer Eignung zur Erfüllung der Prozessanforderungen untersucht

Die Analyse stellt das Kernstück der FMEA dar. Es wird hier die FMEA in fünf Schritten beschrieben

Strukturanalyse Fehleranalyse
Funktionsanalyse Maßnahmen- Analyse und Optimierung

Als Ergebnis wird eine bewertete und risikominimierte Produkt- oder Prozessauslegung erhalten. Die Aufgaben der einzelnen Schritte ist unten beschrieben.

- | | |
|------------------|---|
| Strukturanalyse | Beteiligte Elemente werden erfasst und strukturiert. Es wird darauf aufbauend eine Systemstruktur erstellt. |
| Funktionsanalyse | Einzelne Funktionen werden den Strukturelementen zugeordnet und die einzelnen Funktionen untereinander verknüpft. |
| Fehleranalyse | Mögliche Fehlfunktionen werden den Funktionen zugeordnet und die Fehlfunktionen untereinander verknüpft |
| Maßnahmenanalyse | Die Entdeckungs- und Vermeidungsmaßnahmen werden sauber dokumentiert. Der aktuelle Stand wird einer Bewertung unterzogen. |
| Optimierung | Die Risiken werden mit weiteren Maßnahmen versucht zu minimieren. Der optimierte Stand wird einer Bewertung unterzogen. |

3.2.1. Strukturanalyse

Ein System kann in verschiedene Systemelemente aufgeteilt werden. Unter Systemelemente werden einzelne Funktionsbereiche von Bauteilen und Untergruppen verstanden.

In der Systemstruktur werden die verschiedenen Systemelemente auf verschiedenen hierarchischen Ebenen angeordnet. Die Systemstruktur stellt somit eine Abbildung des technischen Systems dar, bei der jedes Systemelement jeweils nur einmal in der Systemstruktur erscheint. Die Verbindungen der Systemelemente sind als Schnittstellen zu beschreiben.

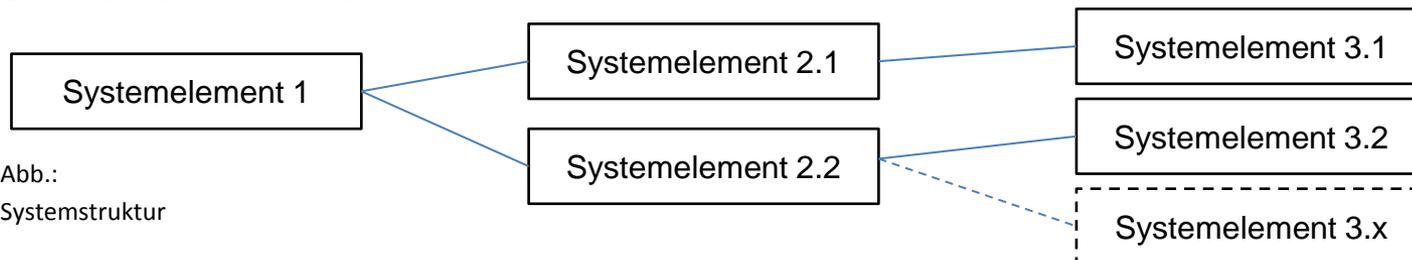


Abb.:
Systemstruktur

3.2.2 Funktionsanalyse

Die unter 3.2.1 beschriebene Systemstruktur ermöglicht die Systemelemente hinsichtlich Funktionen und möglicher Fehlfunktionen im Bezug auf das Gesamtsystem so differenziert wie möglich zu analysieren. Systemelemente erfüllen bestimmte Funktionen bzw. Aufgaben innerhalb des Systems. Um diese Funktionen / Aufgaben erfüllen zu können sind meist Beiträge aus anderen Systemelementen notwendig. Das Zusammenwirken der Funktionen unter den einzelnen Systemelementen wird als Funktionsstruktur bezeichnet. Diese wird als sogenannter Funktionsbaum dargestellt. Es müssen dazu die Funktionen der einzelnen Systemelemente betrachtet werden.

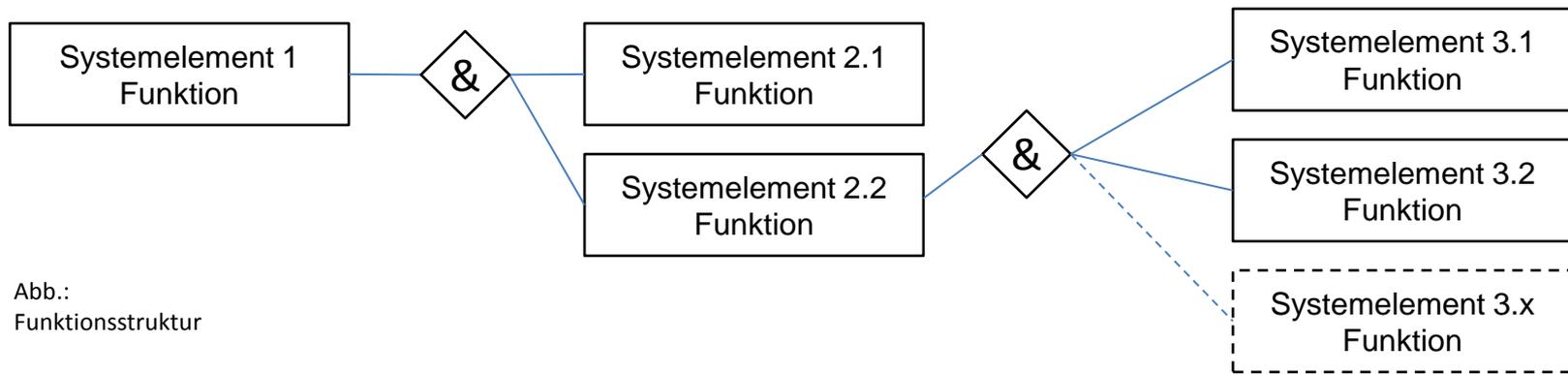


Abb.:
Funktionsstruktur

Die Systemanalyse mit System- und Funktionsstruktur ist Ausgangspunkt zur Erstellung der Fehleranalyse einer FMEA.

3.2.3. Fehleranalyse

Für jedes zu betrachtende System mit Untersystemen und deren Systemelementen ist eine Fehleranalyse durchzuführen. Mögliche Fehler der Systemelemente sind die aus den definierten Funktionen und in der Funktionsanalyse daraus abgeleiteten Fehlfunktionen. Ein erster, meist unvollständiger Schritt besteht in der Nichterfüllung oder Einschränkung der beabsichtigten Funktionen. Die möglichen Fehlerursachen sind die denkbaren Fehlfunktionen der Systemelemente der Systemstruktur. Fehlerfolgen sind dabei die Fehlfunktionen von übergeordneten Systemelementen.

Aufbauend auf die in der Funktionsanalyse aufgestellten und analysierten Funktionen werden die Fehlfunktionen und Fehlfunktionsstrukturen erstellt. Die Tiefe der Fehleranalyse ist demnach von der aufgestellten Systemstruktur abhängig. In den folgenden Abbildungen zeigen einmal exemplarisch ein Beispiel der Systemstruktur mit Fehleranalyse und die Integration der Fehleranalyse in das FMEA- Formblatt

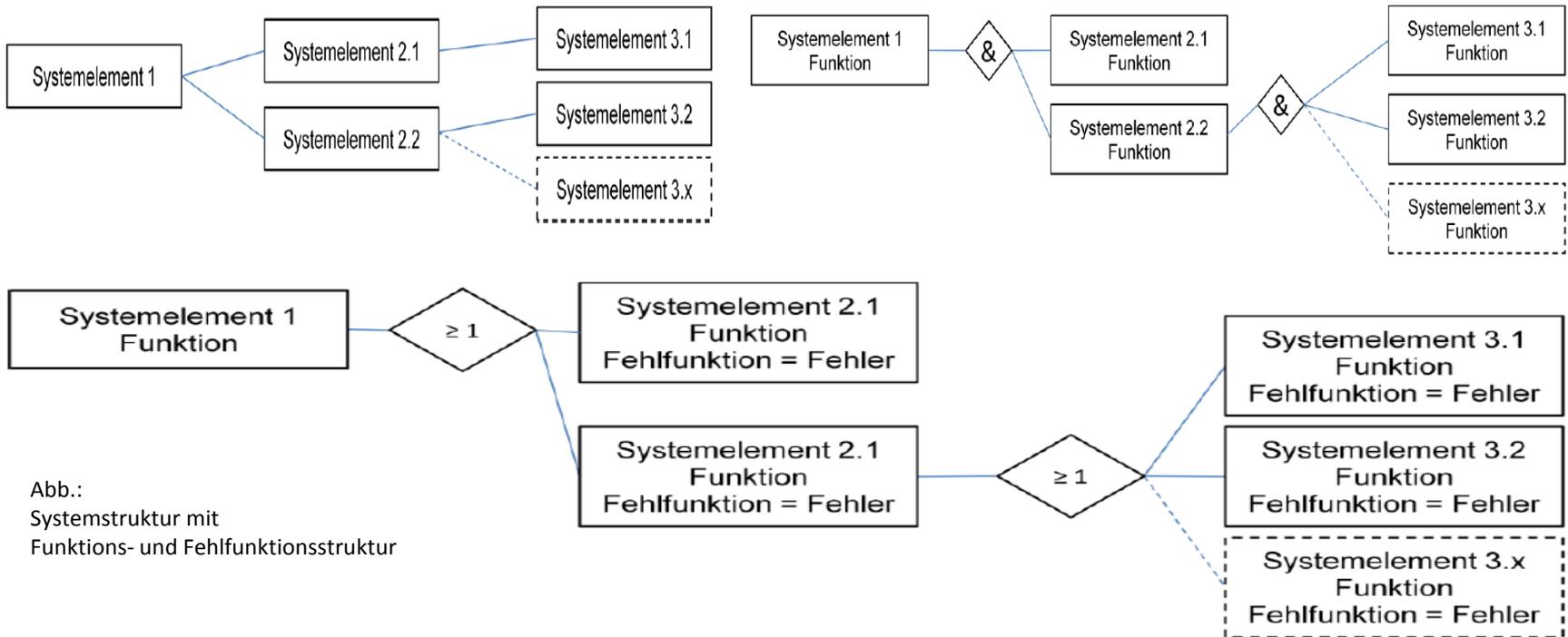


Abb.:
Systemstruktur mit
Funktions- und Fehlfunktionsstruktur

3.2.4 Maßnahmen-Analyse

Für die Bewertung der Risiken werden die Bewertungszahlen B, A und E (siehe Abb. Nächste Seite) verwendet. Dabei steht B für die Bewertung der Fehlerfolge, A für die Auftretungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache und E für die Entdeckungswahrscheinlichkeit der aufgetretenen Fehlerursache. Aus diesen Bewertungszahlen wird die Risikoprioritätszahl RPZ ($RPZ = B \cdot A \cdot E$) berechnet.
FMEA- Formblatt (siehe folgende Abbildung)
Das FMEA- Formblatt beinhaltet folgendes:

(1) Stammdaten

In den Kopf des Formblattes werden die Daten entsprechend den Erfordernissen der jeweiligen Produkte / Prozesse eingetragen. Die Daten müssen das betrachtete System mit der dazugehörigen FMEA- Nr. klar enthalten.

(2) Systemelement

Beinhaltet die die Beschreibung der Systemelemente mit der jeweils betrachteten Funktion / Aufgabe dieser wie z.B. den Arbeitsvorgang.

Prozess Design und Verbesserung mit statistischer Versuchsplanung

Experimente und Tests spielen heute in Technik, Produktentwicklung und Ökonomie eine bedeutende Rolle. Das Ziel ist die Optimierung der Prozesse oder Prozessabläufe und deren Stabilisierung.

Diese sogenannte one – variable - at – a – time hat gewaltige Nachteile und ist nicht selten ungeeignet. Prozesse haben in der Regel mehrere Einflussgrößen. Hier wird diese Methode zeitaufwändig. Bestehen zwischen den Einflussgrößen irgendwelche Wechselwirkungen, so ist die Methode gänzlich ungeeignet, sie führt zu falschen Erkenntnissen.

Hier setzt DoE ein. Mit DoE ist es möglich mehrere Einflussvariablen gleichzeitig zu analysieren und so mit wesentlich geringerem Zeit- und Ressourcenaufwand zu den gewünschten Resultaten zu gelangen.

Kaum eine andere Methode ist so universell in allen Ingenieur- Disziplinen einsetzbar wie DoE.

Hier die Vorteile in Kürze:

Vorteile schnelle und effektive Anwendung zur Untersuchung von komplexen Systemen und Zusammenhängen weltweit standardisierte Vorgehensweise, insbesondere in der Darstellung der Ergebnisse

Grundbegriffe wie Faktor, Effekt oder Wechselwirkung sind das Vokabular der DoE

Reduktion der Versuche zur Optimierung von Prozessen im Gegensatz zu herkömmlichen Vorgehensweisen

Erlaubt die gleichzeitige Änderung der Einflussgrößen

Robust Design (Taguchi / Shainin - Philosophie)

[13] [14]

1. Einführung

Robust Design ist eine Philosophie zur Verbesserung der Produktivität. Sie setzt in der frühen Phase der Konzeption bzw. Realisierung von Produkten ein, um diese schnell und zu niedrigen Preisen entwickeln zu können. Sie kann auf die Mehrzahl der technischen Problemstellungen angewandt werden und benutzt Elemente der statistischen Versuchsplanung (DoE).

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

Wie können Schwankungen der Produktleistungen im Kundenumfeld wirtschaftlich vertretbar reduziert werden ?

Wie kann sichergestellt werden, dass die aus „Laborexperimenten“ gewonnenen Erkenntnisse auch im Produktionsprozess / Fertigungsprozess und im Gebrauchsumfeld Gültigkeit besitzen ?

Das Robust Design benutzt dazu folgende Techniken:

Identifikation von Parametern welche vom Entwickler gut einzustellen sind. Diese werden unterteilt in beliebig einzustellende Parameter und in Störgrößen, auf die nur geringen oder keinen Einfluss genommen werden kann.

Das Prinzip der Nichtlinearität, was voraussetzt, dass die Wirkung eines Produktes oder Prozesses funktional beschreibbar ist.

In der Praxis sind alle Parameter nur mit Toleranzen einstellbar. Es gilt den Unempfindlichkeitsbereich der Wirkungskurve anzusteuern.

Die Festlegung anwendungsgerechter Parametertoleranzen. Es ist dazu die Verlustfunktion zu finden, welche die Abweichungen vom Sollwert monetär quantifiziert.

und

Die Matrix- Experimente, welche mit vernünftigem Aufwand das Auffinden der optimalen Parametereinstellungen ermöglichen.

2. Grundlegendes zu Quality - Engineering

Quality Engineering befasst sich mit Methoden, die darauf abzielen, die Herstellkosten sowie Qualitätsverlustkosten zu senken. Dies steht zunächst im Widerspruch zu der ursprünglichen Auffassung, dass höhere Qualität nur mit erhöhten Kosten erreichbar ist.

Hauptziel des Quality Engineerings (QE) ist „ausreichende“ Qualität auch mit ungünstigen Konstellationen, wie weite Toleranzen, grobe Oberflächen oder einfachen Fertigungsoperationen etc. zu erreichen.

2.1 Qualitätsverluste

Die Erfassung des Qualitätsverlustes gestaltet sich in der Praxis als recht schwierig. Produkte können für die verschiedensten Verwendungszwecke sowie abweichende Betriebs- und Funktionsbedingungen eingesetzt werden.

Weit verbreitet ist, den Ausschussanteil oder den Anteil an Nacharbeit als Qualitätsmassstab zu Grunde zu legen. Dieser Massstab ist jedoch unvollständig und irreführend. Es wird unterstellt, dass alle Produkte, welche innerhalb der Toleranz liegen gleich „gut“ sind. Alle Produkte ausserhalb werden als unbrauchbar angesehen. Der Kunde ist im Allgemeinen nicht in der Lage, eine derartige Abgrenzung zu machen. Er wird in der Regel nur die Produkte als gut akzeptieren, die am Sollwert oder nahe bei diesem liegen. Sie zeigen die beste Leistung.

Um dies zu erfassen, kreierte Taguchi die sogenannte Verlustkurve. Er stellt fest, dass es falsch ist, ein Produkt innerhalb der Toleranzgrössen als gut und ein Produkt ausserhalb dieser als unbrauchbar zu anzusehen. Eine derartige Bewertung kann nur durch die Akzeptanz des Kunden erfolgen. Die Festlegung von Toleranzgrenzen ist meist rein technologisch und lassen den Kunden aussen vor.

Die Grafiken 2.1.1 / 2.1.2 zeigen zum einen die weit verbreitete Qualitätsauffassung und die moderne Qualitätsauffassung, ausgedrückt in Form einer Verlustfunktion ($L(y)$). Oberstes Ziel ist, die bestmögliche Produktion zu realisieren, die alle Abweichungen vom eigentlichen Sollwert vermeidet, überwacht und auch korrigiert.

Im Westen war die Auffassung von Qualität eher schlicht. In der Nachkriegssituation hatte Quantität meist Vorrang vor Qualität. Man war nicht zu Spitzenleistungen gezwungen.

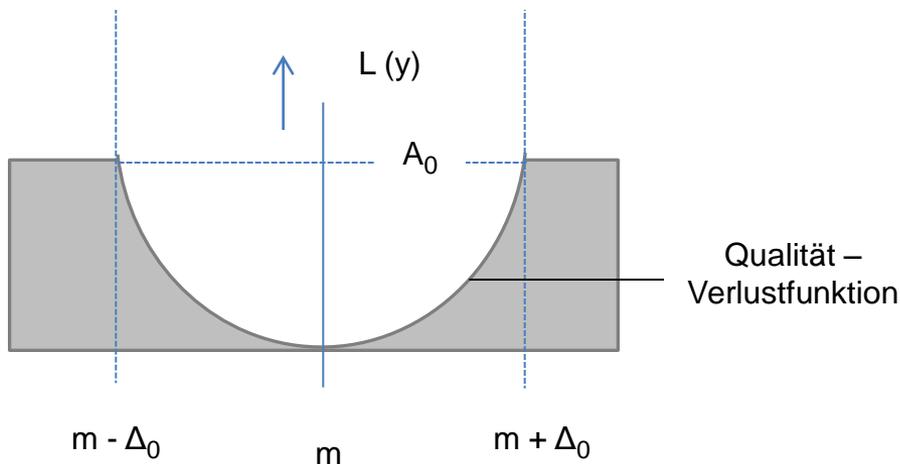
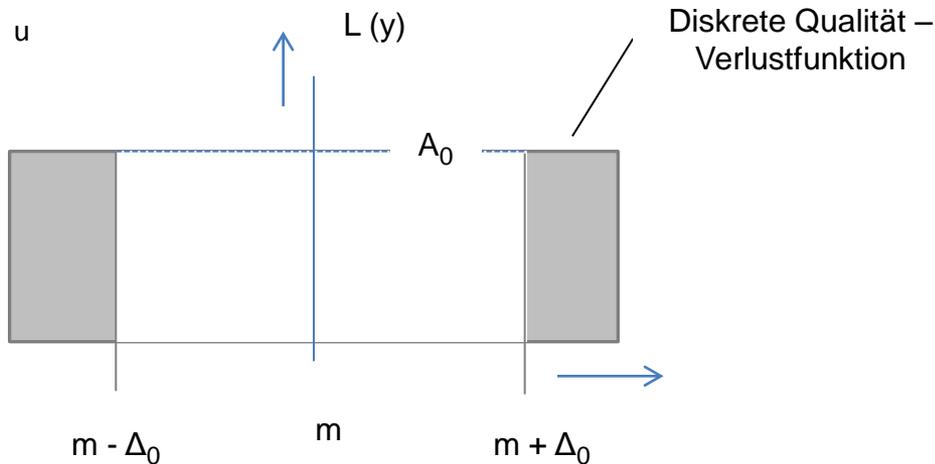


Abb. 2.1.1 / 2.1.2
 Toleranzbereiche und Qualitätsverlustkurven
 Abb. 2.1.1
 Treppenkurve (gut / schlecht Denkweise)
 Abb. 2.1.2
 Quadratischer Verlauf (kontinuierliche Bewertung)

Ein Beispiel aus [B. Klein 2007, S.16]

Die Fa. SONY stand etwa 1980 vor dem Problem, dass die in den USA gefertigten Fernsehgeräte für schlechter empfunden wurden als die in Japan gefertigten. Dies war nicht ohne Weiteres einzusehen, zumal der technische Aufbau identisch war, und die Komponenten aus Japan zugeliefert wurden.

Als Qualitätsmassstab wurde von den Kunden die Farbintensität zu Grunde gelegt. Der Sollwert m für absolute Farbechtheit war mit $m \pm 5$ vorgegeben.

Die Auswertung ergab, dass fünf Sättigungseinheiten gerade einer Streuung von 3σ entsprechen. Bei den von SONY Japan gefertigten Geräten zeigte sich eine Normalverteilung, d.h. 99,73% aller Geräte lagen innerhalb und nur 0,27% ausserhalb der Toleranz.

Bei den in den USA gefertigten Fernsehgeräten zeigte sich eine relative Konstanz des Merkmals, wobei fast alle Geräte gleichmässig innerhalb der Toleranz lagen.

Der Qualitätsunterschied wird erst deutlich, wenn man die beiden Kurvenverläufe analysiert. SONY Japan ist in der Produktion auf Sollwerte (Null Fehler Strategie) fixiert.

Und stellt grösstenteils Geräte der Qualitätsklasse A mit einer sehr guten Farbsättigung her.

SONY USA ist hingegen in der Produktion ausschliesslich bemüht, innerhalb der Toleranz zu bleiben. Es fallen so nur zufällig Geräte der Qualitätsklasse A an und mit gleicher Häufigkeit Geräte der Klassen B und C. Der Anteil an Spitzengeräten ist somit klein, es überwiegen Geräte mit mässiger Qualität.

2.2 Qualitätsfunktion

Im Normalfall lässt sich die Qualitätsverlust als quadratische Funktion darstellen. Ist y das Merkmal der Qualität eines Produktes, m der Sollwert für y , so kann die quadratische Verlustfunktion $L(y)$ wie folgt dargestellt werden:

$$L(y) = k (y - m)^2 \quad k \text{ Verlustkoeffizient}$$

Diese Funktion ist in Abbildung 2.1.2 dargestellt. Im Punkt m ist der Istwert gleich dem Sollwert, die Steigung der Kurve ist in diesem Punkt „0“. Je grösser der Abstand von m wird, umso steiler wächst der Verlust an. Die Verlustfunktion kann als Qualitätsmerkmal herangezogen werden. Sie hilft Bewertungen oder Vergleiche durch-zuführen.

Die Konstante k ist aus den Leistungsgrenzen für y zu ermitteln. Diese ist definiert als derjenige Wert des Merkmals y , bei dem das Produkt in den meisten Fällen aller Anwendungen keine Akzeptanz mehr findet. Stellt $m \pm \Delta_0$ die Leistungsgrenzen dar und A_0 der Verlust bei $y = m \pm C$, so ergibt sich:

$$L(y) = k (y - m)^2 \quad \text{mit } L(y) = A_0$$

an der Stelle $y = m \pm \Delta_0$

$$A_0 = k (m + \Delta_0 - m)^2$$

Mit $k = A_0 / \Delta_0^2$ ergibt sich dann für die Verlustfunktion zu:

$$L(y) = A_0 / \Delta_0^2 (y - m)^2$$

Über den Faktor k wird somit die Empfindlichkeit des Produktes auf Toleranzabweichungen $(y - m)$ gesteuert.

Beim zuvor dargelegten Beispiel aus [B. Klein 2007, S.16] der Farbsättigung von Fernsehgeräten ist die Toleranzgrenze bei $m \pm 5$ festgelegt. Die Mehrzahl der Kunden nimmt an, dass bei dieser Farbsättigung das Gerät defekt ist.

Wird angenommen, dass für die Reparatur des Gerätes beispielsweise 300.- € aufzuwenden sind und der Neupreis bei 1200.- € liegt, so ergibt sich für die Verlustfunktion:

$$L(y) = A_0 / \Delta_0^2 (y - m)^2$$

$$L(y) = 300 / 25 (y - m)^2$$

$$L(y) = 12 (y - m)^2$$

Geräte die den Kunden mit einer Farbsättigung von beispielsweise $m \pm 4$ erreichen, sind somit mit einem „fiktiven“ Qualitätsverlust von $L(m \pm 4) = 192$.- € zu bewerten.

(weniger wert oder anfälliger, in Bezug zu dem, was möglich ist)

Streng betrachtet verlangt eine Null Fehler – Strategie $L(y) = 0$ bzw. $L(m \pm \Delta_0) \sim 0$. Dies ist in der Praxis auf Grund von Kosten und prozessbedingt nicht zu realisieren.

2.3 prozessbezogener Qualitätsverlust [B. Klein 2007, S.25f]

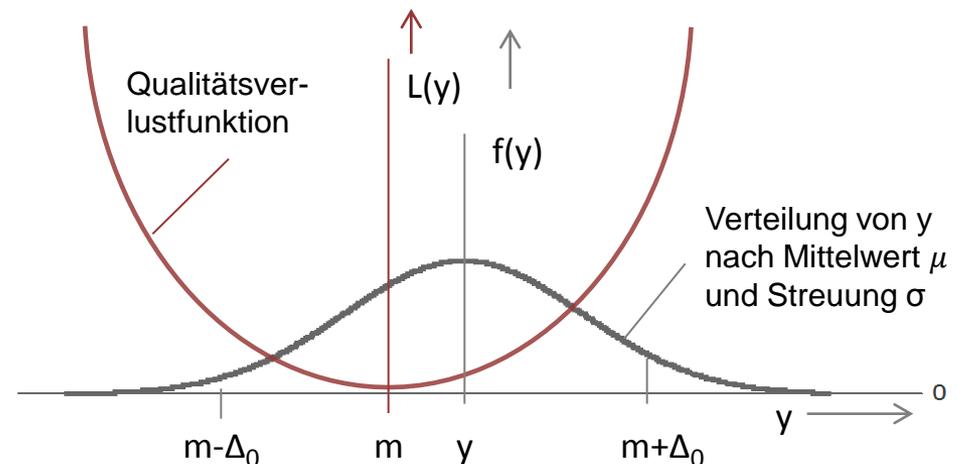
Normalerweise treten bei jeder Produktion oder Fertigung eines Produktes Schwankungen des Q – Merkmals y von Produktionseinheit zu Produktionseinheit auf. In der nebenstehenden Abbildung ist eine repräsentative Verteilung von y als Ergebnis aller Störgrößen dargestellt (graue Kurve). Diese entsteht aus Messungen der Merkmale y_i über das Los.

Ausgehend davon, kann der durchschnittliche Qualitätsverlust (Erwartungswert eines Q- Merkmals) wie folgt angegeben werden:

$$\bar{L}(y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L(y_i)$$

$$\bar{L}(y) = \frac{k}{n} [(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2]$$

Abb. 2.3.1
Dichtefunktion eines normalverteilten Qualitätsmerkmals und Verlustfunktion



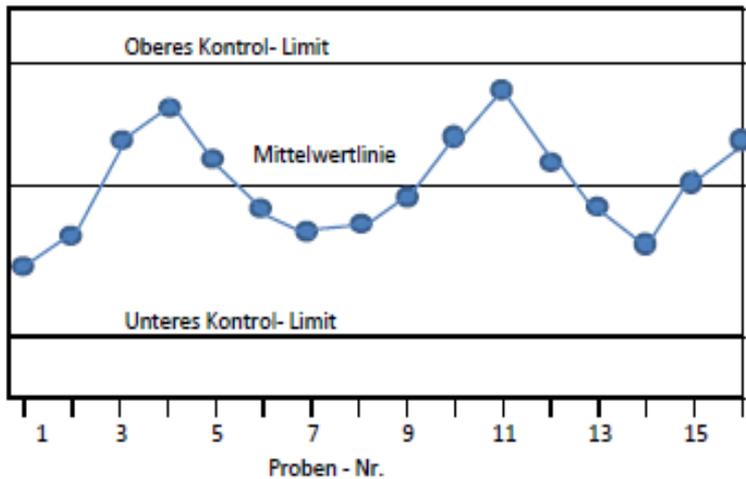
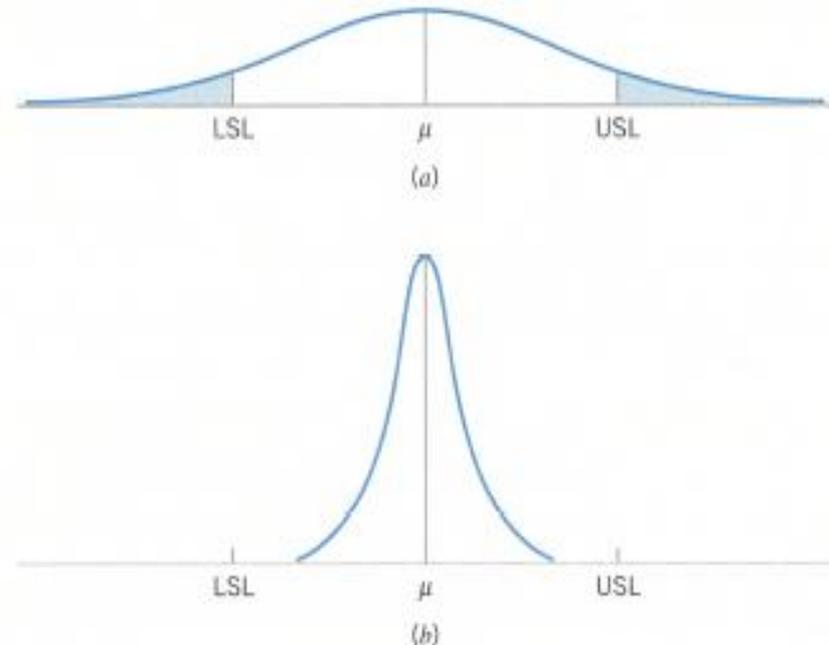


Abb.3.3.2 Control Chart mit zyklischem Verlauf

Abb.3.3.2(a) Streuung bei zyklischem Verlauf

Abb.3.3.2(b) Streuung nach Elimination der Ursachen



Zusammenfassung von Regeln für die Erkennung von „out of control“ Prozessen:

- Ein Punkt befindet sich außerhalb der festgelegten 3σ - Kontroll- Limits

- Zwei von drei aufeinander folgende Mittelwerte der Messpunkte befinden sich außerhalb der 2σ – Warmgrenzen

- Vier von fünf aufeinander folgende Mittelwerte der Messpunkte befinden in einem Abstand von 1σ oder weiter von der Mittelwertlinie

- Acht aufeinander folgende Mittelwerte der Messpunkte befinden sich auf der selben Seite der Mittelwertlinie

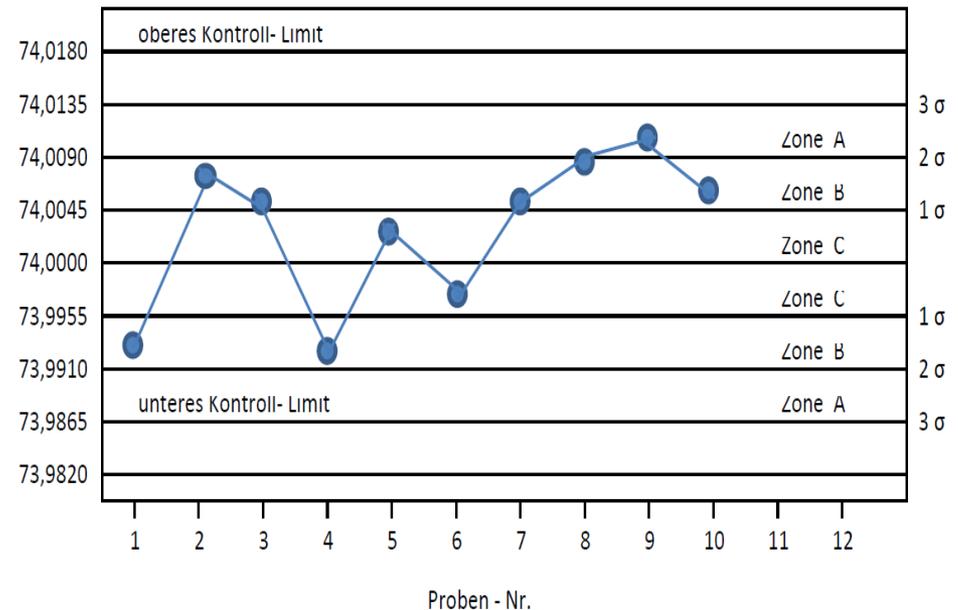
Liegt ein Punkt oberhalb der Warngrenze, gefolgt von einem Punkt unterhalb dieser, so ist dies kein Signal für einen „out of control“ Prozess. Diese Regeln ermöglichen eine frühzeitigere Erkennung von Prozess- Shifts, als die Verletzung des 3σ - Kontroll- Limits.

Die folgende Abbildung zeigt ein  Control Chart mit 1-Sigma, 2-Sigma und 3σ - Kontroll- Limits. Diese teilen das Control Chart unterhalb und oberhalb der Mittelwertlinie in jeweils drei Zonen A, B und C.

Daraus resultierend, werden diese Regeln auch als Zonen Regeln der Control Charts bezeichnet.

Auf dem Chart rechts liegen die fünf letzten Messwerte in Zone B oder außerhalb. Da vier dieser fünf hintereinander folgenden Punkte das 1 Sigma Limit überschreiten, kann geschlossen werden, dass um keine zufällige Verteilung der Messpunkte handelt. Der Prozess ist „out of control“.

Abb.3.3.3 Zonen Regeln des control Chart
Die letzten 4 Punkte zeigen eine Verletzung der als drittes aufgeführten Regel an.



4. Die übrigen „Sieben Untertools“

Die Control Charts sind ein sehr gutes Tool zur Verbesserung und Optimierung von Prozessen. Am effizientesten ist ihr Einsatz jedoch durch die Integration in ein SPC – Programm. Die „sieben Untertools“ sollten über die ganze Organisation hinweg angewendet werden.

Nach der Darstellung der Control Chart sollen im Folgenden die restlichen Tools abgehandelt werden.

4.1. Check Sheet

Zu Beginn der SPC – Implementierung steht meist erst einmal das Zusammentragen von historischen oder aus der laufenden Produktion stammenden Prozessdaten. Die Erstellung eines sogenannten Check Sheet kann an dieser Stelle wertvolle Dienste leisten.

Ein Beispiel eines solchen Check Sheet zeigt die Tabelle 4.1.1 (aus Douglas C. Montgomery Introduction to Statistical Quality Control S. 177-178)

Ein Ingenieur einer Aerospace Firma untersuchte die unterschiedlich auftretenden Defekte die an einem Tank aufgetreten sind. Durch die eher seltene Herstellung erschien es sinnvoll die die Daten monatlich aufzunehmen. Es wurden so viel als möglich unterschiedlich auftretende Defekte aufgenommen.

Die zeitliche Aufnahme diente der Feststellung von Trends oder anderen bedeutsamen Zusammenhängen. Beispielsweise ob bestimmte Defekte meistens im Sommer auftreten oder der Einsatz unterschiedlicher Arbeiter einen Einfluss hat.

Tab.4.1.1 Check Sheet
Daten verschiedener Defekte

Defekts	1988												1989					Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
Teile beschädigt		1		3	1	2		1		10	3			2	2	7	2	34
Maschinen Probleme				3	3				1	8		3		8	3			29
Lieferteile rostig				1	1		2	9										13
Abdeckung ungenügend		3	6	4	3	1												17
schlecht ausgerichtet (schweißen)	2																	2
Weiterverarbeitung gestört	2														2			4
Falsche Teile verwendet		1						2										3
unfertige Verkleidung			3															3
Versagen von Kleber				1						1				2		1	1	6
Farbe außerhalb Spezifikation					1									1				2
Farbschäden durch Beizen			1															1
"Häutchen" auf Teilen						3		1	1									5
Grundierungs- Kanne beschädigt								1										1
Fehlstellen in Gussteilen									1	1								2
Ablösen der Grundstruktur										2								2
Falsche Abmessungen											13	7		13	1		1	36
Unvollständige Tests										1								1
"Salz- Spray" - Fehler														4				4
Total	4	5	14	12	5	9	9	6	10	14	20	7	29	7	7	6	2	166

Für die Erstellung eines Check Sheet ist es wichtig die Art von Daten, welche gesammelt werden sollen klar und eindeutig zu spezifizieren. So die Teile- oder Prozess-Nr., das Datum und andere wichtige Informationen zur Analyse der Fehlerursachen. Generell sollte der Aufbau des Data Sheet sich an seiner zukünftigen Verwendung orientieren.

4.2. Pareto Chart

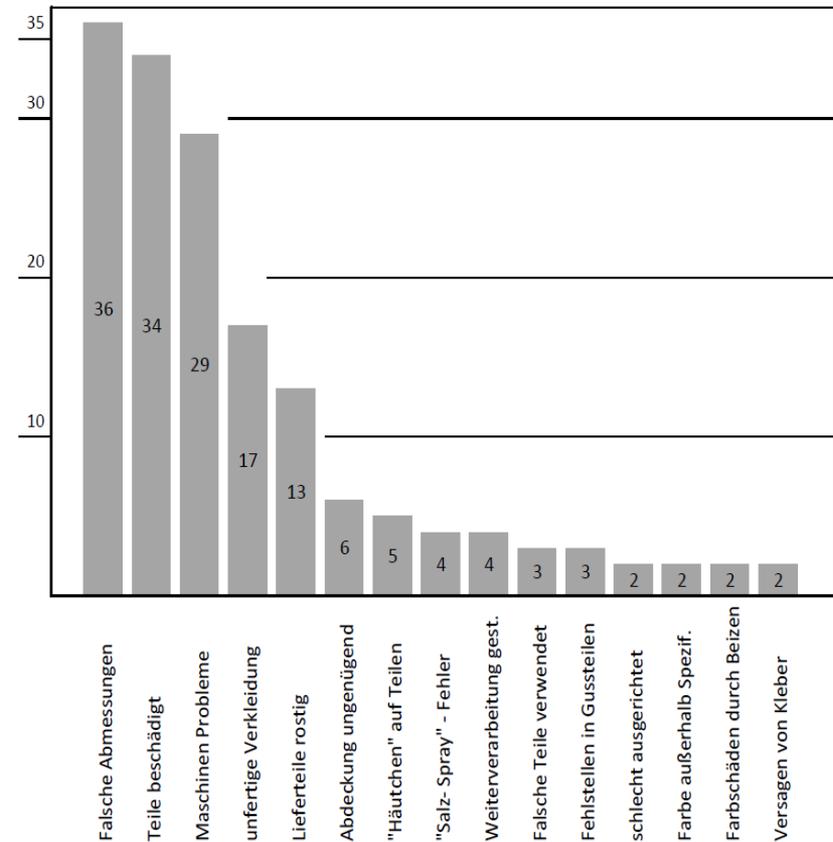
Das Pareto Chart ist ein Instrument zum Vorbereiten und Erleichtern von Entscheidungen. Ziel ist es, die Aufmerksamkeit auf die Dinge zu richten, welche die größte Auswirkung haben. Es wird untersucht, wie die Prioritäten zu setzen sind, um das gesteckte Ziel möglichst effizient zu erreichen.

Um bei dem vorhergehenden Beispiel von Douglas C. Montgomery zu bleiben, werden die Anzahl der jeweiligen Defekte gegen die Defekttypen in ein Diagramm aufgetragen (s. Abb. 4.1.1 unten). So wird es möglich auf einen Blick den Defekttyp zu lokalisieren, welcher am häufigsten auftritt. In diesem Fall sind die am häufigsten auftretenden Defekttypen falsche Dimension, Teile beschädigt und Maschinen- Problem. Die Behebung der Ursachen dieser Defekte sollte nun als erstes in Angriff genommen werden.

Zu bemerken ist an dieser Stelle, dass dieses Pareto Chart nur die Defekte nach ihrer Auftretungshäufigkeit, und nicht nach ihrer Bedeutung veranschaulicht. Alternativ bzw. ergänzend könnte nun ein Chart erstellt werden, bei welchem an Stelle der Anzahl eine monetäre Bewertung der verschiedenen Defekttypen aufgetragen wird.

Es gibt eine Menge an Variationen. Einige davon sind auf der nächsten Seite aufgezeigt. Abb.4.1.2 zeigt ein Pareto Chart für die Aufzeichnung eines Prozesses für den Zusammenbau von eines komplexen Autoteiles. Es werden die Anzahl in Prozent nicht korrekt zusammengebauter Teile in Funktion der Teilenummer aufgezeigt. Die Teile- Nrn. 13 und 36 kommen dabei auf einen Anteil von ca. 70%. Die Ursache dafür könnte beispielsweise auf unklare, missverständliche Bauzeichnungen zurückzuführen sein.

Pareto Charts finden gleichfalls ihren Einsatz zur Qualitätssteigerung in nicht produzierenden Anwendungen. Abb.4.1.3. zeigt ein solches Beispiel aus dem technischen Einkauf. Es werden Fehler in Bestellungen untersucht, mit dem Ziel die Korrekturen zu reduzieren.



Das Chart hat zwei Achsen. Die eine für die Aufzeichnung der Fehlertypen und die Zweite für die Aufzeichnung der Fehlerhäufigkeit. Es ist zu bemerken, dass jede Korrektur einer Bestellung mit Kosten zwischen 150.- bis 300.-€ verbunden ist.

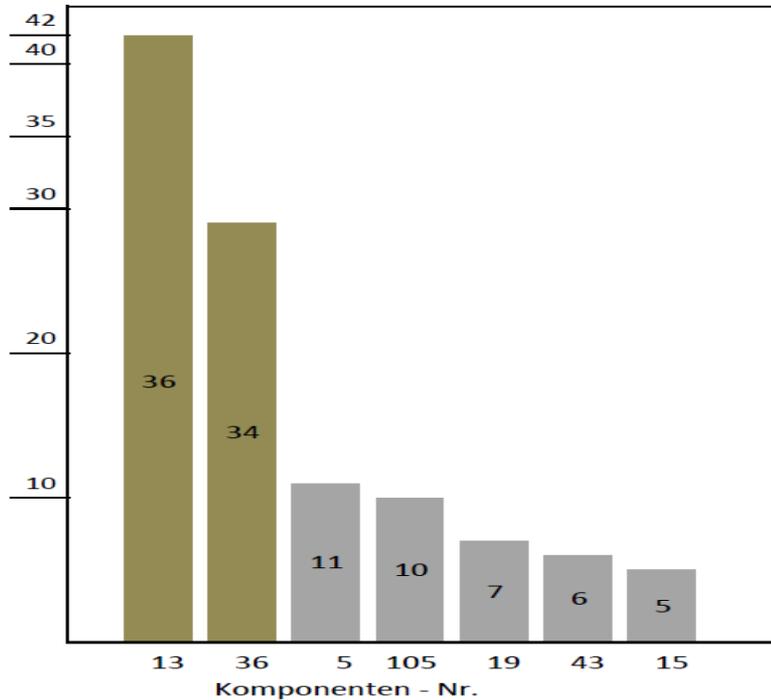


Abb.4.1.2 Zusammenbau von komplexem Auto- Teil

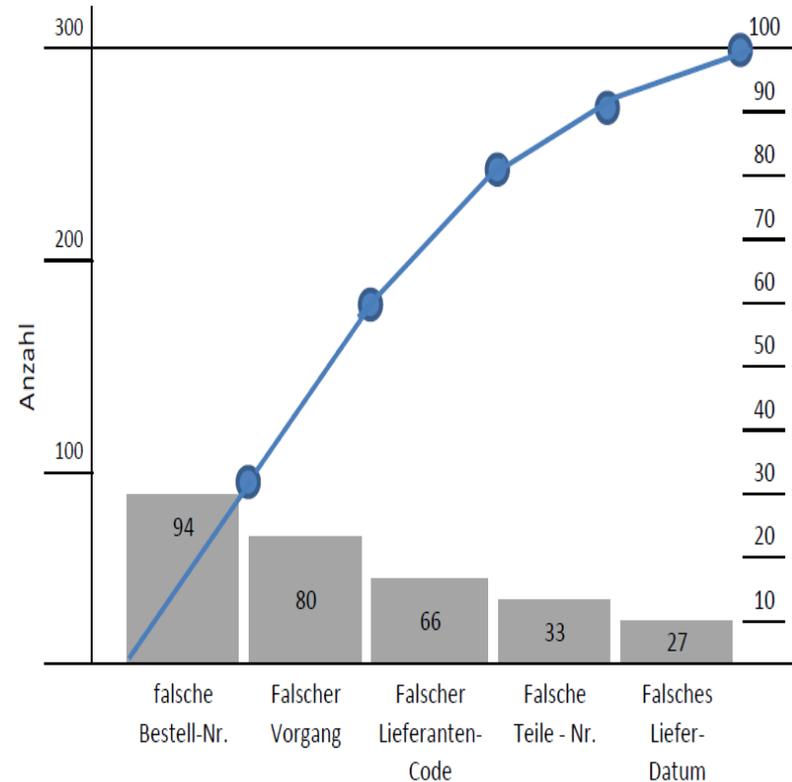


Abb.4.1.3 Fehler im techn. Einkauf

Das Pareto Chart ist somit eines der gebräuchlichsten Hilfsmittel zur gezielten undefizienten Fehlerbeseitigung. Seine Anwendung zur Qualitätsverbesserung ist nur durch den Einfallsreichtum des Anwenders limitiert.

4.3 Ursachen – Wirkung - Diagramm

Werden Fehler oder Defekte lokalisiert, so gilt es deren Ursache zu analysieren und zu beheben. In Fällen bei denen die Ursachen nicht so ohne weiteres klar sind, bietet sich als Hilfe zur Ursachenfindung die Aufstellung eines sogenannten Ursachen- Wirkung – Diagramms an. Das Ursachen- Wirkung – Diagramm für das angeführte Beispiel der Fertigung eines Tanks ist in Abb. 4.2.1 dargestellt. Es können damit die Problembereiche des Prozesses der Tankfertigung evaluiert und eingegrenzt werden.

Die Stufen der Erstellung eines Ursachen- Wirkung – Diagramms sind:

Definition des Problems, welches zu analysieren gilt

Zusammenstellen des Teams zur Ausführung der Analyse. Oft werden Probleme und ihre möglichen Ursachen durch Brainstorming – Methoden entdeckt.

Zeichnen der „Wirkungsbox“ und der Mittellinie

Spezifizieren der Haupt- Ursachen und Einteilung nach Klassen. Die Boxen der Haupt- Ursachen werden um die Mittellinie angeordnet.

Identifizieren der Ursachen und deren Zuordnung zu den verschiedenen Klassen. Falls erforderlich werden neue zusätzliche Klassen kreiert.

Einteilung der Ursachen nach ihrer vermuteten Wichtigkeit im Einfluss auf das Problem.

Wenn notwendig werden Korrekturen vorgenommen.

Im „Tank- Problem“ wurden folgende Haupt Ursachen bzw. Klassen festgelegt:

Maschinen, Material, Methode, Mensch, Messung und Umwelt

Ein Brainstorming der Teammitglieder führte zu den in Abb 4.2.2 aufgeführten „Unterursachen“. In diesem Zusammenhang wurde entschieden, dass Material zusammen mit Methode als Haupt die Kategorien mit den Haupteinflüssen auf das Problem bilden.

Ursachen- Wirkung – Analysen sind ein hervorragendes Tool. Ein gut aufgebautes Ursachen- Wirkung – Diagramm wirkt unterstützend im Troubleshooting. Des Weiteren fördert das Ursachen- Wirkung – Diagramm die Team-Zusammengehörigkeit in Sachen Problemlösung.