

Oliver Grimm
Hauptstraße 5
98554 Benshausen
e-Mail: post 'at' olivergrimm.com

**Six Sigma -
Prozeßoptimierung mit Hilfe statistischer Methoden
am Beispiel einer KTL-Lackieranlage**

**Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
„Diplom-Wirtschaftsinformatiker“
an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
der Technischen Universität Ilmenau
in Zusammenarbeit mit der ZF Sachs AG Schweinfurt**



Fachgebiet: Operation Research und Wirtschaftsstatistik
Betreuender Hochschullehrer: Prof. Dr. oec. habil. Karl Luhn
Betrieblicher Betreuer: Dipl.-Ing.(FH) Andreas Rieß
Abgabetermin: 2005-04-25

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	10
1.1	Problemstellung.....	10
1.1.1	Qualität, Kosten, Zeit.....	10
1.1.2	Ausgangspunkt der KTL-Anlage.....	13
1.2	Zielsetzung.....	14
1.3	Aufbau und Vorgehensweise.....	14
1.4	ZF Sachs AG.....	14
2	Statistische Grundlagen.....	16
2.1	Grundbegriffe und Formelzeichen.....	16
2.2	Arten von Meßwerten.....	17
2.3	Normalverteilung.....	18
2.4	Binomialverteilung.....	20
3	Six Sigma Überblick.....	21
3.1	Six Sigma-Philosophie.....	21
3.2	Langfristjustierung	22
3.3	Prozeßfähigkeitsindizes.....	24
3.3.1	Streuungsindex Cp.....	24
3.3.2	Niveauindex Cpk.....	24
3.3.3	Auswertung der Prozeßfähigkeit.....	25
3.4	Phasen des Six Sigma-Prozesses.....	27
3.4.1	Define – Definieren.....	27
3.4.1.1	SIPOC-Analyse	28
3.4.1.2	VoC - Voice of Customer.....	29
3.4.2	Measure – Messen.....	30
3.4.2.1	Gage R&R	31
3.4.2.2	Design of Experiments – Statistische Versuchsplanung	33
3.4.3	Analyse – Analysieren	36
3.4.3.1	FMEA	36
3.4.3.2	Ishikawa-Diagramm	37
3.4.3.3	Wertstromanalyse.....	39

3.4.4 Graphische Datenanalyse.....	40
3.4.4.2 Hypothesentests und p-Value.....	43
3.4.4.3 ANOVA.....	46
3.4.4.4 Korrelations-/Regressionsanalyse.....	48
3.4.5 Improve – Verbessern.....	49
3.4.5.1 Kaizen.....	50
3.4.5.2 5S-Methode.....	50
3.4.5.3 Fehlervermeidung – Poka Yoke.....	51
3.4.5.4 Kanban.....	52
3.4.6 Control – Kontrollieren.....	53
3.4.6.1 SPC und Qualitätsregelkarten.....	53
3.4.6.2 Standardisierung.....	59
4 Six Sigma am Beispiel der KTL-Anlage.....	60
4.1 KTL-Lackierung.....	60
4.2 KTL-Anlage.....	60
4.3 Prozeßablauf der KTL-Lackierung.....	61
4.4 DMAIC-Prozeß.....	63
4.4.1 Definitionsphase	63
4.4.2 Messung der Prozeßparameter.....	64
4.4.3 Analyse der Meßwerte	65
4.4.3.1 BAB-Kostenanalyse.....	65
4.4.3.2 Prozeßanalyse.....	69
4.4.3.3 Medienverschleppung.....	70
4.4.4 Verbesserungspotentiale	72
4.4.4.1 Prozeßablauf.....	72
4.4.4.2 Workshop „Personalkosten“.....	74
4.4.4.3 Workshop „Instandhaltungskosten“.....	75
4.4.5 Kontrolle des Prozesses	77
4.4.5.1 Verantwortlichkeiten.....	77
4.4.5.2 Visualisierung.....	77
4.4.5.3 Prozeßkennzahlen.....	78
4.5 Zusammenfassung Verbesserungen.....	79
5 Beispiele für abgeschlossene Six Sigma-Projekte.....	80

5.1 Reduzierung der Ausschubkosten bei der CDCe Fertigung.....	80
6 Software zur Unterstützung.....	84
6.1 Minitab	84
6.2 Statistica.....	85
6.3 iGrafx Process for Six Sigma	86
6.4 MindManager.....	87
7 Zusammenfassung.....	88
8 Literaturverzeichnis.....	90
9 Anhang.....	95
10 Danksagung.....	150
11 Erklärung.....	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Fehlerniveau und Qualitätskosten.....	11
Tabelle 3.1: Beurteilung Gage R&R-Wert.....	33
Tabelle 3.2: Histogrammklassenanzahl nach DIN 55302.....	40
Tabelle 3.3: Parametertests.....	45
Tabelle 3.4: Fehler bei Hypothesentests.....	45
Tabelle 3.5: Auswertung der Regelkarten.....	59
Tabelle 4.1: Verbrauchsanalyse Energie.....	67
Tabelle 4.2: Zusammensetzung der Kalkulationskosten.....	68
Tabelle 4.3: Korrelation der Badparameter.....	71
Tabelle 4.4: Vergleich der Tagesprogramme.....	72
Tabelle 4.5: Behandlungszeiten niO-Gestell.....	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Eisbergeffekt (Aufteilung der Fehlerkosten).....	11
Abbildung 1.2: Ausbeute bei zunehmender Komplexität.....	13
Abbildung 1.3: Ferrari Formel-1-Wagen.....	15
Abbildung 1.4: Formel-1-Dämpfer von ZF Sachs.....	15
Abbildung 2.1: Einteilung von Meßwerten.....	18
Abbildung 2.2: Standardnormalverteilung.....	19
Abbildung 2.3: Binomialverteilung.....	20
Abbildung 3.1: konventionelle Verlustfunktion.....	22
Abbildung 3.2: tatsächliche Verlustfunktion.....	22
Abbildung 3.3: Six Sigma Shift.....	23
Abbildung 3.4: ppm bei Shift-Verschiebung.....	23
Abbildung 3.5: Beispiele zur Prozeßfähigkeit.....	25
Abbildung 3.6: Prozeßfähigkeit (Prozeß fähig und beherrscht).....	26
Abbildung 3.7: Erkenntnisse aus den Prozeßfähigkeitskennzahlen.....	26
Abbildung 3.8: DMAIC-Zyklus.....	27
Abbildung 3.9: Kano-Modell.....	30
Abbildung 3.10: Prozeßmeßgrößen.....	30
Abbildung 3.11: Mögliche Quellen der Prozeßvariation.....	31
Abbildung 3.12: Gage R&R.....	32
Abbildung 3.13: Kombinationsmöglichkeiten DoE.....	34
Abbildung 3.14: Ishikawa-Diagramm.....	38
Abbildung 3.15: Histogramm.....	40
Abbildung 3.16: Pareto-Diagramm.....	41
Abbildung 3.17: Boxplot.....	42
Abbildung 3.18: Boxplots Normalverteilung, rechtsschief und linksschief.....	43
Abbildung 3.19: Beispiel zu ANOVA.....	47
Abbildung 3.20: Regressionsgeraden.....	48
Abbildung 3.21: Poka Yoke-Beispiel.....	51
Abbildung 3.22: Kanban-Prinzip.....	52
Abbildung 3.23: Qualitätsregelkarte.....	54

Abbildung 3.24: Mittelwertkarte.....	55
Abbildung 3.25: Annahme-Qualitätsregelkarte.....	57
Abbildung 3.26: OC-Funktion.....	58
Abbildung 4.1: KTL-Tauchbecken.....	61
Abbildung 4.2: KTL-Tauchgestell mit Teilen.....	61
Abbildung 4.3: Abdeckung Verrollbereich.....	62
Abbildung 4.4: Abdeckung Ventilstutzen.....	62
Abbildung 4.5: SIPOC-Analyse.....	64
Abbildung 4.6: Kostenbeeinflussungsmöglichkeiten.....	65
Abbildung 4.7: Produktionsleistung.....	66
Abbildung 4.8: Herstellkosten vs. Kalkulationskosten.....	68
Abbildung 4.9: Zusammensetzung der Herstellkosten.....	69
Abbildung 4.10: Behandlungszeitenanalyse.....	70
Abbildung 4.11: Boxplot der pH-Werte.....	71
Abbildung 4.12: Doppelter t-Test der Verweilzeiten.....	73
Abbildung 4.13: Etaseco-Pumpe (dichtungslos).....	75
Abbildung 4.14: Pareto-Analyse INST-Aufwand.....	76
Abbildung 4.15: Visualisierung der Prozeßparameter.....	77
Abbildung 4.16: Meßwertvisualisierung in Excel.....	78
Abbildung 5.1: Process-Map Gesamtprozeß.....	80
Abbildung 5.2: Leistungsprüfungsvergleich.....	81
Abbildung 5.3: Reduzierung der Nachprüfungen.....	82
Abbildung 5.4: Prozeß nach der Optimierung.....	82
Abbildung 6.1: Programmoberfläche Minitab.....	84
Abbildung 6.2: Programmoberfläche Statistica.....	85
Abbildung 6.3: Programmoberfläche iGrafx Process 2003.....	86
Abbildung 6.4: Programmoberfläche MindManager.....	87
Abbildung 7.1: Übersicht einiger Six Sigma-Tools.....	88
Abbildung 7.2: Trichtermodell.....	89

Abkürzungsverzeichnis

ACS	Advanced Chassis Systems
BAB	Betriebsabrechnungsbogen
CDC	Continuous Damping Control
CDC _e	Continuous Damping Control, externe Ausführung
CDC _i	Continuous Damping Control, interne Ausführung
CTQ	Critical to Quality
DHS	Damper Heavy Duty Schweinfurt
DMAIC	Define, Measure, Analyse, Improve, Control
DoE	Design of Experiment
DOS	Damper Operations Schweinfurt
DPMO	Defects per Million Opportunities
DPU	Defects per Unit
DTM	Deutsche Tourenwagen-Meisterschaft
ESTA	Elektrostatik
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
GKM	Gemeinkostenmanagement
HE	Haupteffekt
iO	in Ordnung (Teil innerhalb der Toleranzen)
ISO	International Organization for Standardization
INST	Instandhaltung
KTL	kathodische Tauchlackierung
KSB	Klein Schanzling & Becker AG
KST	Kostenstelle
KVP	kontinuierlicher Verbesserungsprozeß
LCL	Lower Control Limit
LF	Leitfähigkeit
LSL	Lower Specification Limit
MEQ	Milliequivalent
niO	nicht in Ordnung (Teil außerhalb der Toleranzen)
NKW	Nutzkraftwagen
NVS	neues Ventilsystem
pH	pondus Hydrogenii
ppm	parts per million

PPS	Produktionsplanung und -steuerung
ProdHaftG	Produkthaftungsgesetz
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Customer
SPC	Statistical Process Control
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
TPS	Toyota Production System
TQM	Total Quality Management
UCL	Upper Control Limit
UPA	ungeplante, produktive Arbeit
USL	Upper Specification Limit
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VE	vollentsalzt
VoC	Voice of Customer
WRC	World-Rallye-Championship
WT	Warenträger (Palette)
WW	Wechselwirkung

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

1.1.1 Qualität, Kosten, Zeit

Qualität, Kosten und Zeit werden in vielen Bereichen als das „Magische Dreieck“ bezeichnet¹. Gerade in der Automobil- und deren Zulieferindustrie stehen diese Faktoren besonders im Fokus. Auf den ersten Blick läßt sich vermuten, daß die Erreichung einer hohen Qualität bei geringen Kosten in einer vorgegebenen Zeit eine konfliktäre Zielbeziehung darstellt. Jedoch ist nachweisbar, daß eine Verringerung der Fehlerquote eine Verbesserung des Nettoertrages zur Folge hat.² Eine Null-Fehler-Produktionsstrategie steigert die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens durch die Unterstützung der Qualitätsfähigkeit, der Produktivität und der Termintreue³ (also Qualität, Kosten, Zeit).

Das größte Potential zur Kostenbeeinflussung liegt bei den Qualitätskosten, die sich aus den folgenden Bestandteilen zusammensetzen⁴:

– *Konformitätskosten*

Kosten, die zur Erfüllung der Qualitätsanforderungen aufgewendet werden müssen (z.B. geplante Prüfkosten, Fehlerverhütungskosten)

– *Nichtkonformitätskosten*

Kosten, die aufgrund einer Abweichung von der Qualitätsnorm entstehen (z.B. ungeplante Prüfkosten, Fehlerfolgekosten)⁵

Durch eine Erhöhung des Qualitätsniveaus können zwar ggf. die Konformitätskosten steigen, jedoch sinken die Nichtkonformitätskosten im Verhältnis dazu wesentlich stärker. Grund hierfür ist vor allem die Reduzierung der Fehlerfolgekosten, unter denen sich

¹ vgl. Töpfer / Six Sigma – Projektmanagement

² vgl. Harry; Schröder / Six Sigma / S. 17

³ vgl. Westenkämper / Null-Fehler-Produktion in Prozeßketten / S. 1

⁴ vgl. Linß / Qualitätsmanagement für Ingenieure / S. 468 ff.

⁵ vgl. hierzu auch DIN 55350-11 / S. 10

Einleitung

viele sogenannte versteckte Fehlerkosten befinden¹ (Eisbergeffekt der Fehlerkosten; siehe Abbildung 1.1). Der Zusammenhang zwischen Qualitätsniveau und Qualitätskosten ist in Tabelle 1.1 dargestellt². Darin befindet sich auch das entsprechende Sigma-Niveau, welches der Gauß'schen Normalverteilung³ zugrundeliegt (mit Langfristjustierung; siehe Kapitel 3.2). Auf dem σ -Wert baut das Konzept der Six Sigma-Methodik auf.

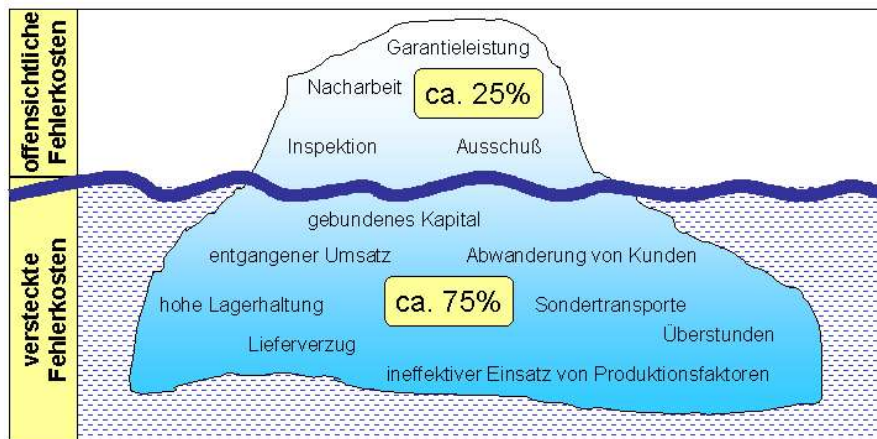


Abbildung 1.1: Eisbergeffekt (Aufteilung der Fehlerkosten)

Fehler (DPMO)	Qualitätskosten	σ-Niveau
308.537	nicht akzeptabel	2
66.807	25-40 % vom Umsatz	3
6.210	15-25 % vom Umsatz	4
233	5-15 % vom Umsatz	5
3	<1 % vom Umsatz	6

Tabelle 1.1: Fehlerniveau und Qualitätskosten

¹ vgl. Linß / Qualitätsmanagement für Ingenieure / S. 462

² Quelle: Harry; Schröder / Six Sigma / S. 17

³ Carl Friedrich Gauß, deutscher Mathematiker, Astronom und Physiker (1777-1855)

Eingeführt 1987 von Motorola, gewinnt diese Philosophie des Qualitätsmanagements auch in deutschen Unternehmen zunehmend an Bedeutung.¹ Art Sundry, ein leitender Mitarbeiter von Motorola, stand bei einem Managementmeeting 1979 auf und erklärte: "Das eigentliche Problem bei Motorola ist, daß unsere Qualität zum Himmel stinkt!"². Dies war der Auslöser für eine neue Initiative von Motorola, die als grundlegendes Ziel die Kundenzufriedenheit hatte. Während dieser Phase entdeckte man bei Motorola den Zusammenhang zwischen hoher Qualität und niedrigen Entwicklungskosten bei der Fertigung von Produkten. Nachdem das Unternehmen nachweisbar ein Qualitätsniveau von vier Sigma erreicht hatte, stellte man sich das Ziel, sechs Sigma zu erreichen.

Intention des so entstandenen Six Sigma-Konzeptes ist das Erreichen eines Qualitätsniveaus von 99,99966 %, welches einem Sigma-Wert von sechs entspricht (daher auch der Name „Six Sigma“). Das Konzept ist für Industriebetriebe gleichermaßen anwendbar, wie für die Branchen Dienstleistung und Finanzen und ist primär auf die sogenannte Voice-of-Customer (VoC), also die Kundenanforderungen, fokussiert.³

Besonders sichtbar wird die Bedeutung eines niedrigen Fehlerniveaus bei der Betrachtung von Produkten, die aus mehreren Komponenten bestehen bzw. die in unterschiedlichen, aufeinanderfolgenden Arbeitsschritten produziert werden. Hierbei ergibt sich die Gesamtausbeute als Produkt der Einzelwerte der Komponenten bzw. Fertigungsschritte. In der Abbildung 1.2 ist zu erkennen, daß bei zunehmender Komponentenzahl die Gesamtausbeute degressiv abnimmt.

¹ vgl. Töpfer / Six Sigma / Vorwort

² vgl. <http://www.4managers.de/10-Inhalte/asp/SixSigma.asp> (Abruf: 2004-12-06)

³ vgl. Isakson / Applying Six Sigma

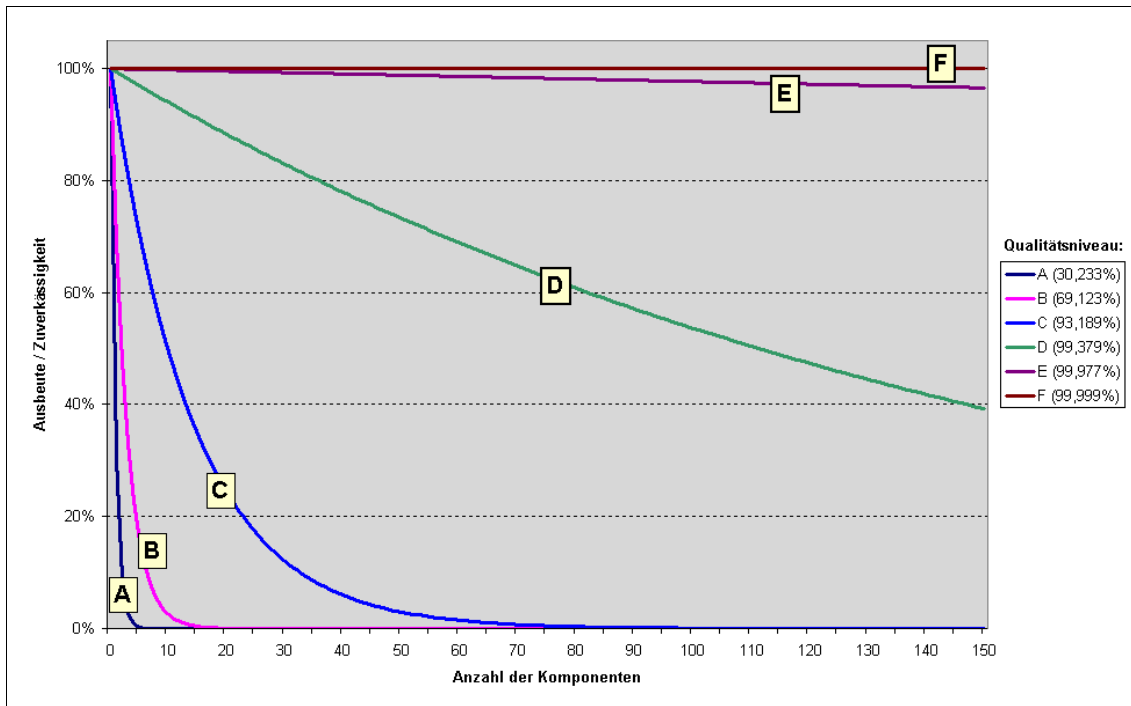


Abbildung 1.2: Ausbeute bei zunehmender Komplexität

Allein bei der Herstellung eines variablen CDC-Stoßdämpfers für den Ferrari Maranello F131 werden 75 Bauteile benötigt.¹ Bei einem durchschnittlichen Qualitätsniveau von 99,4 % (entspricht 4 σ ; Kurve D der Abbildung 1.2) würde sich ein Gesamtqualitätsniveau von nur 62,68 % ergeben. Erreichen jedoch alle Prozesse und Komponenten ein Qualitätsniveau von 6 σ (Kurve F), so läßt sich ein Gesamtqualitätsniveau von 99,98 % erreichen.

1.1.2 Ausgangspunkt der KTL-Anlage

Hauptaugenmerk des Optimierungsproblems für die KTL-Anlage liegt auf dem Kostenbereich. Da die Anlage für eine wesentlich höhere Produktionsmenge konzipiert wurde, sind die Stückherstellungskosten unverhältnismäßig hoch (siehe Kapitel 4.4.3.1). Aus diesem Grund ist zu prüfen, ob durch eine Prozeßoptimierung eine effizienterer Produktionsablauf erreicht werden kann.

¹ Quelle: SAP-Stückliste

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die prinzipielle Vorgehensweise bei der Prozeßoptimierung mit Hilfe der Six Sigma-Methodik darzustellen. Hierbei wird insbesondere auf die statistischen Methoden und weitere Hilfsmittel zur Unterstützung der einzelnen Phasen eingegangen. Organisatorische Fragen einer Six Sigma Organisation (Aufbauorganisation, Projektsteuerung, Rollenverteilung, Schulungen und Führungskräfte-training) stehen bei dieser Diplomarbeit nicht im Vordergrund.¹

1.3 Aufbau und Vorgehensweise

Am Anfang der Diplomarbeit sollen zunächst statistische Grundlagen erläutert werden. Danach wird der theoretische Ablauf von Six Sigma dargestellt, sowie auf Instrumente zur Unterstützung eingegangen, wobei im Anschluß daran diese Vorgehensweise an dem praktischen Beispiel der Prozeßoptimierung einer KTL-Lackieranlage veranschaulicht wird.

1.4 ZF Sachs AG

Die ZF Sachs AG ist in ihren Kerngeschäftsfeldern Antriebsstrang und Fahrwerk ein global operierender Entwicklungs- und Systempartner der Automobilindustrie mit umfassender Kompetenz für Problemlösung der Kraftübertragung sowie der Schwingungsdämpfung. Durch die Zugehörigkeit zur ZF AG Friedrichshafen eröffnen sich weitere Synergien und ein breitgefächertes Know-how für zukünftige Entwicklungen. Das Unternehmen ist der weltgrößte Automobilzulieferer für Dämpfer und Dämpfermodule. Der ZF-Konzern beschäftigt weltweit ca. 53.000 Mitarbeiter. Im Werk Schweinfurt gibt es 7.000 Beschäftigte, davon 2.100 im Bereich Fahrwerk.

Seine technologische Kompetenz unterstreicht ZF Sachs auch im Motorsport und stellt unter anderem als offizieller Lieferant die Dämpfungssysteme für das erfolgreiche Ferrari-Team in der Formel-1 bereit (Abb. 1.3 und Abb. 1.4). Weiterhin werden ZF-Sachs Komponenten im Rallye-Sport (WRC) bei Tourenwagenrennen (DTM) und auch beim bekannten 24-Stunden-Rennen von Le Mans eingesetzt. Die Gründung einer eigenen Gesellschaft, der Sachs Race Engineering GmbH, im Jahr 1998 spiegelt die Ambitionen

¹ siehe hierzu: Töpfer / Six Sigma / S. 167 ff.

Einleitung

des Unternehmens, seine führende technologische Stellung im Rennsportbereich zu präsentieren und auszubauen, wider. Der Umsatz des ZF-Konzerns belief sich 2003 auf 8.928 Mio €.



Abbildung 1.3: Ferrari Formel-1-Wagen

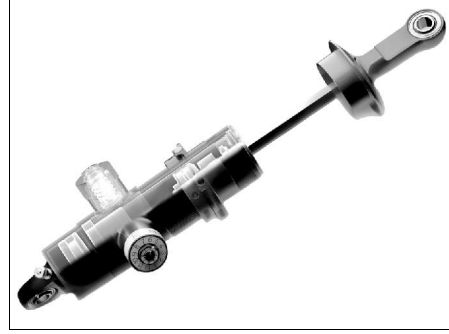


Abbildung 1.4: Formel-1-Dämpfer von ZF Sachs

Anhang R: Stichwortverzeichnis

5S-Methode.....	50
6 M's.....	38
80/20-Regel.....	41
A	
ABC-Analyse.....	41
Ablehnungsbereich.....	112
Ablehnungsbereich	43
Alphafehler.....	45
Alternativhypothese.....	43, 112
Analysis of Variance.....	46
Analyse.....	36, 65
Annahmenfaktor.....	58
Annahmeregeln.....	57
Annahmestichprobenprüfung.....	57
ANOVA.....	46
Ausfalleffektanalyse.....	36
Ausreißer.....	42
B	
Basiseigenschaften.....	29
Begeisterungseigenschaften.....	29
Betafehler.....	45
Betriebsabrechnungsbogen.....	65, 98
Binomialverteilung.....	20
Blockbildung.....	34
Boxplot.....	42, 70
C	
Centerpoints.....	35
Champion.....	28
Chi-Quadrat-Streuungstest.....	45
Conjoint-Analyse.....	29
Control.....	53, 77
D	
Define.....	27, 63
Design of Experiments.....	33, 81, 114
diskrete Merkmale.....	20, 54
DMADV.....	27
DMAIC.....	27, 63
doppelter t-Test.....	45, 72
E	
einfacher t-Test.....	45, 112
Eingriffsgrenzen.....	54
Eingriffswahrscheinlichkeit.....	57

Anhang

Eisbergeffekt der Fehlerkosten.....	11
Elektrotauchlackierung.....	60
F	
F-Wert	46
Faktorkombination.....	34
Fehlerarten.....	45
Fehlerbaum	37
Fehlerfolgekosten.....	10
Fehlerhäufigkeitsanalyse.....	41
Fehlermöglichkeits- und -einflußanalyse.....	36, 125
Fehlervermeidung.....	51
Fischgrätendiagramm.....	37
Flow-Chart.....	63, 108
Freiheitsgrad.....	46
G	
Gage R&R.....	31, 81
Gemein- und Energiekosten.....	67
Gesamtausbeute.....	12
Gitterschnitt.....	64
Glockenkurve.....	19
Grundgesamtheit.....	16
H	
Häufigkeitsdichtefunktion.....	40
Haupteffekt.....	35, 115
Herstellkosten.....	68
Histogramm.....	40
Hypothesentest.....	43, 112
I	
iGrafx Process.....	86, 109
Improve.....	49, 72
Instandhaltungskosten.....	66, 75
Ishikawa-Diagramm.....	37, 110
K	
Kaizen.....	50
Kalkulationskosten.....	68
Kanban.....	52, 63
Kano-Modell.....	29
Kennzahlensystem.....	78
Klassengrenze.....	40
Konformitätskosten.....	10
kontinuierliche Merkmale.....	33, 40, 54f.
kontinuierlicher Verbesserungsprozeß.....	50
Korrekturwert.....	17, 143
Korrelationsanalyse.....	48

Anhang

Korrelationskoeffizient.....	49
Kostenanalyse.....	65
KTL-Lackierung.....	60
Kundenzufriedenheit.....	29
L	
Langfristjustierung.....	22
LCL.....	54
Lean Production.....	39, 49
Leistungseigenschaften.....	29
Lernkurveneffekt.....	59
Lineartransformation.....	19
LWL.....	54
M	
Maskieren.....	62
Measure.....	30, 64
Meßmittel.....	31
Meßwerte.....	17
MindManager.....	87
Minitab.....	84
Mittelwert.....	16
Mittelwertkarte.....	55
Mittelwertvergleich.....	46
Motorola.....	11, 22
N	
Nichteingriffswahrscheinlichkeit.....	58
Nichtkonformitätskosten.....	10
Niveauindex.....	24
Normalverteilung.....	18
Null-Fehler-Produktionsstrategie.....	10
Nullhypothese.....	43, 112
O	
Oberflächenspannung.....	64
OC-Funktion.....	58
One-Sample t.....	45, 112
One-Sample Z.....	45
Operationscharakteristik.....	58
P	
p-Karte.....	56
p-Value.....	46
Parameterhypothese.....	44, 112
Pareto-Analyse.....	41, 65
Pearson-Korrelationskoeffizient.....	49
Personalkosten.....	66, 74
Poka Yoke.....	51

Anhang

Predictor.....	48, 71
Produkthaftungsgesetz.....	36
Prozeßanalyse.....	69
Prozeßdiagramm.....	63, 108
Prozeßfähigkeit.....	25
Prozeßfähigkeitsindex.....	24
Prozeßkennzahlen.....	78
Prozeßpotential.....	24
Pumpen.....	76
Q	
Qualitätskosten.....	10f.
Qualitätsregelkarte.....	54, 78, 120
Quartil.....	42
R	
R-Karte.....	57
Randomisierung.....	34
Regelkarten mit Grenzwertvorgaben.....	57
Regressionsanalyse.....	48
Repeatability.....	31
Reproducibility.....	31
Response.....	48, 71
Run.....	59
S	
s-Karte.....	56
Schichtdicke.....	60, 64
Shewhart-Regelkarten.....	55
Shift.....	23
Signifikanztest.....	43
SIPOC.....	28, 63
Spezifikationsgrenzen.....	24
Standardisierung.....	59
Statistica.....	85
statistische Prozeßkontrolle.....	53
statistische Versuchsplanung.....	33
Stichprobe.....	16
Stichprobenvarianz.....	16
Streuung.....	16
Streuungsindex.....	24
T	
t-Test.....	45, 72, 112
Taguchi.....	35
Testgröße.....	43
Toleranz.....	24
Toyota Production System.....	49
Trend.....	59

Anhang

Two-Sample t.....	45, 73
U	
UCL.....	54
Ursache-Wirkungs-Diagramm.....	37
UWL.....	54
V	
Vergleichshypothese.....	44
Vergleichspräzision.....	31
Verlustfunktion von Taguchi.....	22
Verteilungshypothese.....	44
Visualisierung.....	77
Voice of Customer.....	29
W	
Warngrenzen.....	54
Wechselwirkung.....	35, 115
Wertschöpfung.....	39
Wertstromanalyse.....	39, 75, 119
Wiederholpräzision	31
Z	
Zaubereich.....	42
Zaunline.....	42
ZF Sachs AG.....	14

10 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben. Besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die mir das Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht haben. Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. oec. habil. Karl Luhn sowie bei Dipl.-Ing.(FH) Andreas Rieß für die Betreuung meiner Diplomarbeit und deren zahlreichen Ratschläge, welche zur Verbesserung der Arbeit beigetragen haben. Auch folgenden Mitarbeitern der Firma ZF Sachs Schweinfurt möchte ich für deren Unterstützung, sowohl während meines Praktikums, als auch während meiner Zeit als Diplomand danken:

Ralf Mußmächer, Lars Roßberg, Mandy Saft, Christian Schmelzing, Dieter Schulz, Erich Straub, Gerald Strauß, Klaus Vollert, Wolfgang Zettner und Jürgen Zink.

11 Erklärung

Die vorliegende Arbeit habe ich selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

Benshausen, 2005-03-31

Oliver Grimm