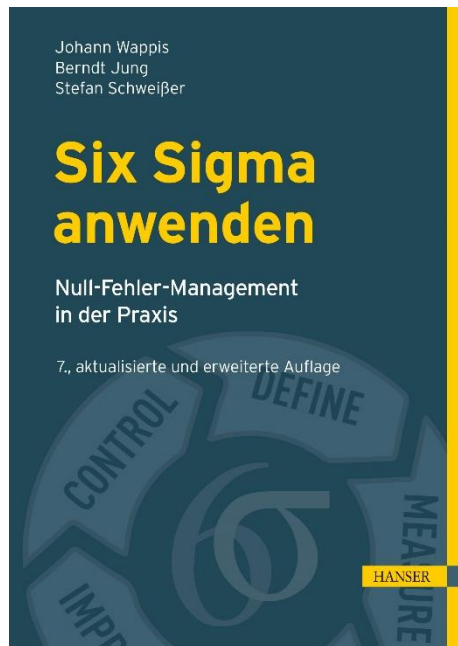


# HANSER



## Leseprobe

zu

## Six Sigma anwenden

von Johann Wappis, Berndt Jung und Stefan Schweißner

Print-ISBN: 978-3-446-47674-5

E-Book-ISBN: 978-3-446-47742-1

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446476745>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Vorwort

Six Sigma wurde Mitte der 1980er-Jahre von Motorola als strategische Initiative zur Verbesserung der Qualität und Reduktion der Kosten entwickelt und eingeführt. Bis Mitte der 1990er-Jahre war Six Sigma relativ unbekannt. Erst nachdem General Electric eine Six Sigma-Initiative startete und damit in der Wirtschaftspresse Schlagzeilen machte, begannen sich weltweit Unternehmen damit zu beschäftigen. Heute zählt Six Sigma zu den leistungsfähigsten Modellen zur Optimierung von Produkten und Prozessen.

Im Zentrum von Six Sigma stehen Verbesserungsprojekte, so genannte „Six Sigma-Projekte“, mit deren Hilfe die Prozesse bzw. Produkte im Unternehmen optimiert werden. Verbesserungen werden nach dem **DMAIC-Ablauf**

**Define – Measure – Analyze – Improve – Control**

umgesetzt. Jeder Schritt ist mit schlagkräftigen und erprobten Werkzeugen hinterlegt. Während des gesamten Verbesserungsprojektes orientiert man sich konsequent an den Bedürfnissen der Kunden. Dieser klare und standardisierte Rahmen macht das Verbessern im Unternehmen zur Routine.

Das vorliegende Buch soll Six Sigma-Green Belts und Six Sigma-Black Belts, aber auch Führungskräften als Hilfestellung bei der Umsetzung von Six Sigma dienen. Zunächst wird dazu in **Abschnitt 1** ein **Überblick über Six Sigma** gegeben. Es wird erläutert, was Six Sigma ist und die Erfolgsfaktoren von Six Sigma werden dargestellt.

**Abschnitt 2** beschreibt das **Management von Six Sigma-Projekten**. Um die begrenzten Ressourcen zielgerichtet einzusetzen, müssen aus den vielen Vorschlägen für Verbesserungen die besten Ideen ausgewählt werden. Diese werden anschließend konsequent in Projektform abgewickelt.

**Abschnitt 3** behandelt die **statistischen Grundlagen**. Ein Erfolgsfaktor der Six Sigma-Projekte liegt in der Nutzung schlagkräftiger Werkzeuge. Auch wenn man in der Praxis die Berechnungen einer Statistik-Software überlässt, ist für die Interpretation der Ergebnisse die Kenntnis der statistischen Hintergründe erforderlich. Die grundlegenden statistischen Zusammenhänge sind in diesem Abschnitt zusammengefasst. Sie können ihn vorerst auch überspringen und sich erst bei der Interpretation der Berechnungen wieder diesem Kapitel zuwenden.

Anschließend wird in den **Abschnitten 4 bis 8** das **Vorgehen bei der Abwicklung von Verbesserungsprojekten** erläutert. Die Basis bildet die Six Sigma-Roadmap, ein Leitfaden zur Umsetzung der Six Sigma-Projekte. Anhand dieser Roadmap wird Schritt für Schritt die Umsetzung der Verbesserungsprojekte erläutert. Die eingesetzten Werkzeuge und Verfahren werden detailliert beschrieben.

**Abschnitt 9** beschäftigt sich mit der **Verankerung von Six Sigma in der Unternehmensorganisation**. Damit Six Sigma auch nachhaltig und erfolgreich betrieben werden kann, müssen die notwendigen Rahmenbedingungen für die Verbesserungsarbeit geschaffen werden. Die erforderlichen Maßnahmen und Schritte zur Entwicklung dieser Rahmenbedingungen und zur Verankerung von Six Sigma in der Unternehmensorganisation werden vorgestellt. Am Ende dieses Abschnittes wird zudem auf die Problemlösung nach 8D eingegangen, da ein nachhaltiger Problemlösungsprozess eine wichtige Ergänzung zu Six Sigma ist.

Der letzte Teil des Buches ist **Design for Six Sigma (DFSS)** gewidmet. **Abschnitt 10** beschreibt die Anwendung von Six Sigma, wenn der Schwerpunkt des Verbesserungsprojektes in der Entwicklung von neuen Lösungen für Produkte bzw. Prozesse liegt. Die Umsetzung von Verbesserungen erfolgt nach dem **PIDOV-Modell**

### Plan – Identify – Design – Optimize – Validate

Das Vorgehensmodell und auch die eingesetzten Werkzeuge werden erläutert.

Bei der Erstellung des Buches haben wir besonderes Augenmerk auf die Darstellung von bewährten Methoden und Werkzeugen gelegt. Keines der beschriebenen Werkzeuge ist neu. Vielmehr greift Six Sigma auf erprobte und etablierte Werkzeuge zurück.

Ebenso wichtig ist uns auch die leichte Übertragbarkeit der Inhalte in die betriebliche Praxis. Daher werden anhand von Beispielen auch der Rechengang mit Statistik-Software und die Interpretation der Ergebnisse erläutert. Zur leichteren Nachvollziehbarkeit sind die Menü-Pfade in der Software angegeben.

Für die Umsetzung von Six Sigma werden von den Autoren vor allem die im Folgenden angeführten Softwarepakete empfohlen. Diese wurden auch zur Erstellung der Beispiele im Buch herangezogen.

- **Minitab** ([www.minitab.com](http://www.minitab.com)): Minitab zählt zu den im Rahmen von Six Sigma-Programmen am häufigsten eingesetzten Softwarepaketen. Eine besondere Stärke von Minitab liegt im Bereich der Statistischen Versuchsplanung. Den Anwenderinnen und Anwendern wird bei der Erstellung der Versuchspläne und der Analyse der Versuchsergebnisse die Rechenarbeit abgenommen und sie können sich auf die Interpretation der Rechenergebnisse und der anschaulichen Grafiken konzentrieren. Dies hat maßgeblich zur breiteren Anwendung der Statistischen Versuchsplanung in der Praxis beigetragen.
- **JMP** ([www.jmp.com](http://www.jmp.com)): JMP ist hinsichtlich der Funktionen mit Minitab vergleichbar. Auch JMP stellt umfassende Rechenergebnisse und Grafiken sehr anschaulich dar. Es werden eine Vielzahl von Online-Ressourcen (z.B. Video-Tutorials) zur Verfügung gestellt, die den Anwenderinnen und Anwendern den Umgang mit JMP erleichtern.

- **SigmaXL** ([www.SigmaXL.com](http://www.SigmaXL.com)): SigmaXL ist ein Excel-Add-In, das über eine Reihe von Analyseverfahren verfügt, die in Six Sigma-Projekten zur Anwendung kommen. Nachdem die Praxisanwender in der Regel mit Excel gut vertraut sind, ist die Hemmschwelle gering, SigmaXL für eine Analyse heranzuziehen. SigmaXL wird daher z. B. von Six Sigma-Green Belts genutzt, die nicht ständig und intensiv mit Statistik-Softwarepaketen arbeiten und daher nicht die Routine dabei haben.
- **Q-DAS** ([www.q-das.com](http://www.q-das.com)): Die Software von Q-DAS wird in den Unternehmen insbesondere für den Nachweis der Produkt- und Prozessqualität sowie der Prüfprozesseignung eingesetzt. Eine besondere Stärke dieses Programmpaketes liegt darin, dass eine Vielzahl von Normen und Richtlinien von Automobilherstellern in der Software abgebildet ist.

Um das Verständnis für die Werkzeuge zu erleichtern, stehen Ihnen viele der in diesem Buch verwendeten Dateien als Download zur Verfügung:

Internet-Adresse: [www.step-up.at/download/nullfehler/](http://www.step-up.at/download/nullfehler/)

Benutzername: nullfehler

Kennwort: management

Häufig wird das Vorgehen beim Einsatz statistischer Werkzeuge erst klarer, wenn man den Rechengang anhand konkreter Beispiele mit Hilfe von Excel „händisch“ nachvollzieht. Für die industrielle Praxis empfehlen wir jedoch, eine auf die jeweilige Anwendung ausgerichtete Software einzusetzen.

An dieser Stelle ist es eine angenehme Aufgabe, all jenen zu danken, die zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben. Unser herzlicher Dank ergeht an unsere Kollegen und Freunde, allen voran den Herren Dipl.-Ing. Dr. Markus Battisti, MA, Ing. Peter Gritsch, MSc und Dipl.-Ing. (FH) Gernot Schieg, MSc. Weiters danken wir Herrn Dipl.-Ing. Gunther Spork, Mitarbeiter der Magna Powertrain, für die vielen spannenden Diskussionen zu diesem Thema. Unser besonderer Dank gilt Frau Ing. Klaudia Priestersberger, MSc für das sorgfältige Lektorat.

Für die gute Zusammenarbeit über die vielen Jahre bedanken wir uns beim Herausgeber der „Praxisreihe Qualität“, Herrn ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt Matyas. Nicht zuletzt gilt unser Dank auch dem Carl Hanser Verlag, vertreten durch Frau Lisa Hoffmann-Bäuml, für die gute Zusammenarbeit.

Der größte Dank gebührt aber unseren Ehefrauen. Durch viel Verständnis und das richtige motivierende Wort zum richtigen Zeitpunkt haben sie wesentlich zum Gelingen dieses Buches beigetragen.

Trotz aller Sorgfalt sind wir uns sicher, dass es noch verbesserungswürdige Stellen im Buch gibt. Kommentare, Verbesserungsvorschläge oder Fragen zu diesem Buch schreiben Sie bitte an [buchautoren@step-up.at](mailto:buchautoren@step-up.at). Für wertvolle Hinweise dürfen wir uns schon jetzt bei unseren Leserinnen und Lesern bedanken.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Umsetzung Ihrer Verbesserungsprojekte!

Wien, Mai 2023

Johann Wappis    Berndt Jung    Stefan Schweißer



# Inhalt

Vorwort.....	V
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Verbesserungsprojekte zur Prozessoptimierung.....	1
1.2 Erfolgsfaktoren für Six Sigma .....	4
<b>2 Management von Six Sigma-Projekten .....</b>	<b>13</b>
2.1 Auswahl der richtigen Projekte.....	13
2.2 Projektabwicklung.....	15
2.2.1 Projektstrukturplan für Verbesserungsprojekte.....	15
2.2.2 Projektauftrag.....	16
2.2.3 Planung der Projekt-Ecktermine und Aufgaben.....	19
2.2.4 Kostenplanung und -verfolgung.....	21
2.2.5 Projektcontrolling .....	21
2.2.6 Projektkommunikation.....	22
2.2.7 Projektdokumentation.....	23
2.2.8 Projektabschluss .....	23
<b>3 Grundlagen der Statistik.....</b>	<b>27</b>
3.1 Allgemeine Grundlagen .....	27
3.1.1 Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten.....	29
3.1.2 Merkmalsarten .....	29
3.1.3 Aufgaben der analytischen Statistik.....	30
3.2 Verteilungsformen.....	32
3.2.1 Hypergeometrische Verteilungen.....	33
3.2.2 Binomialverteilung.....	33
3.2.3 Poisson-Verteilung .....	36
3.2.4 Normalverteilung .....	38
3.2.4.1 Standardisierte Normalverteilung.....	40
3.2.4.2 Wahrscheinlichkeitsnetz (Probability Plot) .....	45
3.2.5 Logarithmische Normalverteilung.....	47
3.2.6 Weibull-Verteilung .....	47
3.2.7 Exponentialverteilung .....	47
3.2.8 Weitere Verteilungen .....	47

3.3	Kennwerte von Stichproben.....	47
3.3.1	Kennwerte der Lage .....	48
3.3.1.1	Arithmetischer Mittelwert ( $x$ -quer, $\bar{x}$ ) .....	49
3.3.1.2	Zentralwert / Median ( $x$ -Schlange).....	49
3.3.1.3	Häufigster Wert / Modalwert .....	49
3.3.1.4	Geometrisches Mittel.....	49
3.3.2	Kennwerte der Streuung.....	49
3.3.2.1	Varianz.....	49
3.3.2.2	Standardabweichung .....	50
3.3.2.3	Spannweite (Range) .....	50
3.3.3	Kennwerte der Verteilungsform .....	50
3.3.3.1	Schiefe, Asymmetrie .....	50
3.3.3.2	Excess / Wölbung (Kurtosis).....	51
3.4	Parametrische Verteilungen .....	52
3.4.1	t-Verteilung .....	53
3.4.2	$\chi^2$ -Verteilung.....	53
3.4.3	F-Verteilung .....	54
3.5	Spezielle Grundlagen der Statistik .....	55
3.5.1	Zentraler Grenzwertsatz.....	55
3.5.2	Addition von Verteilungsfunktionen .....	56
3.5.3	Prüfung auf Verteilungsform .....	57
3.5.4	Anpassung der Verteilungsform.....	60
3.5.5	Transformation von Messwerten .....	61
3.5.5.1	Lineare Transformation.....	61
3.5.5.2	Nichtlineare Transformation.....	61
3.6	Zufallsstrebereich (ZB).....	63
3.6.1	Zufallsstrebereich für diskrete Merkmale .....	64
3.6.2	Zufallsstrebereich für kontinuierliche Merkmale.....	65
3.6.2.1	Zufallsstrebereich für den arithmetischen Mittelwert .....	65
3.6.2.2	Zufallsstrebereich für den Median .....	66
3.7	Vertrauensbereich (VB).....	68
3.7.1	Vertrauensbereich für den Mittelwert, falls $\sigma$ bekannt ist .....	69
3.7.2	Vertrauensbereich für den Mittelwert, falls $\sigma$ nicht bekannt ist .....	72
3.7.3	Vertrauensbereich für Streuungen.....	74
4	<b>Phase Define .....</b>	<b>75</b>
4.1	Ausgangssituation beschreiben .....	75
4.2	Prozessüberblick schaffen .....	76
4.3	Kunden und deren Forderungen ermitteln .....	79
4.4	Projekt definieren.....	81

<b>5</b>	<b>Phase Measure</b> .....	83
5.1	Prozess detaillieren .....	84
5.1.1	Detaillierte Darstellung des Prozesses.....	84
5.1.2	Mögliche Ursachen darstellen.....	87
5.2	Vorhandene Daten interpretieren .....	89
5.2.1	Grafische Darstellung von Daten .....	90
5.2.1.1	Verlauf der Einzelwerte (Time Series Plot).....	90
5.2.1.2	Einzelwertkarte (Individual Chart) .....	91
5.2.1.3	Medianzyklen-Diagramm (Run Chart).....	92
5.2.1.4	Häufigkeitsdiagramme .....	93
5.2.1.5	Streudiagramme / Korrelationsdiagramme.....	95
5.2.1.6	Box Plots.....	96
5.2.1.7	Pareto-Analyse.....	97
5.2.1.8	Multi-Vari-Charts .....	98
5.2.1.9	Paarweiser Vergleich .....	102
5.2.1.10	Gemeinsame Interpretation mehrerer Grafiken .....	103
5.2.1.11	Erstellung von grafischen Darstellungen mit JMP und Minitab .....	105
5.2.2	Zufällige oder signifikante Unterschiede.....	106
5.3	Daten erfassen und auswerten.....	108
5.3.1	Datenschichtung.....	110
5.3.2	Datenerlegung .....	111
5.4	Eignung des Prüfsystems sicherstellen.....	112
5.4.1	Grundlagen und Begriffe.....	115
5.4.1.1	Einflüsse auf Prüfprozesse.....	115
5.4.1.2	Auflösung.....	115
5.4.1.3	Systematische Messabweichung (Bias).....	116
5.4.1.4	Wiederholpräzision (Repeatability).....	116
5.4.1.5	Vergleichspräzision (Reproducibility).....	117
5.4.1.6	Linearität (Linearity) .....	118
5.4.1.7	Stabilität (Stability).....	118
5.4.2	Eignungsnachweis von Messprozessen .....	119
5.4.2.1	Unsicherheit des Normals .....	120
5.4.2.2	Einfluss der Auflösung .....	121
5.4.2.3	Systematische Messabweichung.....	121
5.4.2.4	Verfahren 1 .....	123
5.4.2.5	Linearität .....	127
5.4.2.6	Verfahren 2: GR&R-Study .....	129
5.4.2.7	Verfahren 3: GR&R-Study ohne Bedienerinfluss .....	138
5.4.2.8	Messbeständigkeit, Stabilität.....	138
5.4.2.9	Ergänzungen zum Eignungsnachweis von Messprozessen .	139
5.4.3	Eignungsnachweis für Messprozesse nach VDA 5 .....	139



5.4.4	Eignungsnachweis von attributiven Prüfprozessen.....	140
5.4.4.1	Verfahren nach VDA 5.....	142
5.4.4.2	Methode der Signalerkennung.....	143
5.4.4.3	Testen von Hypothesen mit Kreuztabellen.....	144
5.4.4.4	Bestimmung der fälschlichen Annahme / Rückweisung ....	145
5.5	Prozessleistung ermitteln .....	147
5.5.1	Bewertung von kontinuierlichen Merkmalen.....	147
5.5.1.1	Fähigkeitsindizes für normalverteilte Messwertreihen .....	149
5.5.1.2	Vorgehen zur Ermittlung der Prozessfähigkeit.....	153
5.5.1.3	Vertrauensbereich für die Fähigkeitskenngrößen .....	153
5.5.1.4	Phasen der Prozessqualifikation .....	154
5.5.1.5	Prozessfähigkeitskennwerte nach SPC-Referenzhandbuch	155
5.5.1.6	Prozessleistungs- und Prozessfähigkeitsindizes nach DIN ISO 22514-2 .....	156
5.5.1.7	Zeitabhängige Verteilungsmodelle nach DIN ISO 22514-2..	157
5.5.1.8	Methoden zur Schätzung von Lage und Streuung nach DIN ISO 22514-2 .....	163
5.5.1.9	Weitere Verfahren.....	164
5.5.1.10	Beispiele zur Berechnung der Prozessfähigkeit.....	165
5.5.2	Bewertung von diskreten Merkmalen – Process Sigma .....	174
5.5.3	Ermittlung der Gesamtanlageneffizienz .....	177
<b>6</b>	<b>Phase Analyze.....</b>	<b>181</b>
6.1	Mögliche Haupteinflussgrößen identifizieren.....	182
6.1.1	Ausgangsbasis Kundenforderungen .....	182
6.1.2	Prozesse analysieren .....	183
6.1.2.1	Analyse der Prozessdaten .....	183
6.1.2.2	Wertschöpfungsanalyse.....	184
6.1.2.3	Informationsflussanalyse .....	185
6.1.2.4	Leistungsanalyse.....	185
6.1.3	Mögliche Einflussgrößen in Prozessschritten identifizieren .....	186
6.2	Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge ermitteln und darstellen .....	188
6.2.1	Beurteilung mittels Kennwerten aus dem laufenden Prozess .....	189
6.2.1.1	Vergleich eines Mittelwertes mit einem Vorgabewert (u-Test).....	189
6.2.1.2	Vergleich eines Mittelwertes mit einem Vorgabewert (t-Test) .....	195
6.2.1.3	Vergleich von zwei Mittelwerten (t-Test).....	195
6.2.1.4	Varianzanalyse (ANOVA, Analysis of Variance).....	204
6.2.1.5	Häufig verwendete Testverfahren.....	210
6.2.1.6	Regressionsanalyse.....	211
6.2.2	Versuchsplanung mit „einfachen Methoden“ .....	220
6.2.2.1	Komponententausch .....	220

6.2.2.2	Variablenvergleich .....	223
6.2.3	Versuchsplanung mit Statistischen Versuchsplänen .....	225
6.2.3.1	Begriffe und allgemeine Grundlagen .....	226
6.2.3.2	Arten von Versuchen .....	229
6.2.3.3	Planung und Durchführung von Versuchen .....	230
6.2.3.4	Vollständige faktorielle Versuchspläne.....	233
6.2.3.5	Unvollständige faktorielle Versuchspläne .....	249
6.2.3.6	Plackett-Burman-Versuchspläne.....	254
6.2.3.7	Versuchspläne für nichtlineare Zusammenhänge .....	254
6.2.3.8	Versuchspläne zur Untersuchung der Streuung .....	257
6.2.4	Zusammenfassung der Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge .....	260
<b>7</b>	<b>Phase Improve</b> .....	<b>261</b>
7.1	Lösungsvarianten entwickeln.....	262
7.1.1	Lösungen lassen sich direkt aus Phase <b>Analyze</b> ableiten .....	262
7.1.2	Lösungsfindung mittels Kreativitätstechnik .....	262
7.1.2.1	Klassisches Brainstorming.....	262
7.1.2.2	Kartenabfrage.....	263
7.1.2.3	Brainstorming mittels Ishikawa-Diagramm / Mindmapping .....	264
7.1.2.4	Methode 635.....	264
7.1.3	Lösungsfindung mittels Statistischer Versuchsmethodik .....	265
7.1.4	Spezielle Werkzeuge zur Lösungsfindung.....	266
7.1.4.1	Schnelles Rüsten / SMED .....	266
7.1.4.2	Prozessoptimierung mit Systemen vorbestimmter Zeiten ...	268
7.1.4.3	Ordnung und Sauberkeit am Arbeitsplatz (5S) .....	269
7.1.4.4	Fehlhandlungsvermeidung (Poka Yoke) .....	269
7.2	Lösungen bewerten und Lösung auswählen .....	272
7.2.1	Bewertung mittels Nutzwertanalyse .....	272
7.2.2	Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA) .....	273
7.2.3	Fehlerbaumanalyse (Fault Tree Analysis) .....	279
7.3	Ausgewählte Lösung erproben und Wirksamkeit nachweisen .....	280
7.3.1.1	Hypothesentests.....	281
7.3.1.2	Prozessfähigkeitsuntersuchungen .....	281
7.3.1.3	Prozesssimulationen.....	281
7.3.2	Produkt- und Prozessfreigabe durchführen.....	283
7.4	Implementierung planen .....	284
<b>8</b>	<b>Phase Control</b> .....	<b>287</b>
8.1	Lösung organisatorisch verankern .....	288
8.2	Verbesserung nachhaltig absichern .....	289
8.2.1	Laufende Qualifikation der Mitarbeiter sicherstellen.....	289
8.2.2	Laufende Qualifikation der Prozesse sicherstellen .....	289

8.2.2.1	Wartung und Instandhaltung.....	290
8.2.2.2	Das Grundprinzip der Statistischen Prozessregelung.....	290
8.2.2.3	Auswahl der Merkmale für die Statistische Prozessregelung.....	293
8.2.2.4	Vorgehen zur Statistischen Prozessregelung .....	293
8.2.2.5	Regelung nach Lage und Streuung.....	295
8.2.2.6	Berechnung der Eingriffsgrenzen .....	297
8.2.2.7	Führen von Regelkarten.....	300
8.2.2.8	Indikatoren für das Vorhandensein besonderer Ursachen... 301	
8.2.2.9	Weitere Regelkarten für kontinuierliche Merkmale .....	302
8.2.2.10	Regelkarten für diskrete Merkmalswerte .....	305
8.2.3	Verbesserten Prozess an Eigner übergeben .....	309
8.3	Projekt abschließen .....	310
8.3.1	Lessons Learned.....	310
8.3.1.1	Erfahrungen für bestehende Produkte bzw. Prozesse nutzen .....	310
8.3.1.2	Erfahrungen für zukünftige Produkte bzw. Prozesse nutzen .....	311
8.3.1.3	Erfahrungen für Six Sigma-Projektarbeit nutzen .....	312
8.3.2	Projektabschlussbericht erstellen .....	312
<b>9</b>	<b>Verankerung von Six Sigma in der Unternehmensorganisation .....</b>	<b>313</b>
9.1	Einordnung von Six Sigma in die Formen der Verbesserungsarbeit.....	314
9.1.1	PDCA-Zyklus - Grundlage aller Formen der Verbesserungsarbeit....	314
9.1.2	Verbesserungsmanagement im Überblick.....	315
9.1.3	Zusammenspiel zwischen Lean Management und Six Sigma .....	317
9.2	Einbindung von Six Sigma in die Aufbauorganisation .....	321
9.2.1	Six Sigma-Champions .....	322
9.2.2	Six Sigma-Manager .....	324
9.2.3	Six Sigma-Black Belts .....	326
9.2.4	Six Sigma-Green Belts .....	328
9.2.5	Six Sigma-Yellow Belts.....	328
9.2.6	Six Sigma-Master Black Belts .....	328
9.2.7	Unternehmensleitung.....	329
9.3	Einbindung von Six Sigma in die Ablauforganisation .....	329
9.3.1	Prozess „Projekt beauftragen“ .....	331
9.3.2	Prozess „Projekt starten“.....	337
9.3.3	Prozess „Projektcontrolling durchführen“.....	339
9.3.4	Prozess „Multiprojektcontrolling durchführen“.....	340
9.3.5	Prozess „Projekt abschließen“ .....	342
9.3.6	Prozess Projekt abnehmen und evaluieren .....	344
9.4	Beurteilung des Reifegrades des Unternehmens bezüglich Six Sigma .....	345

9.5	Einführung von Six Sigma .....	346
9.5.1	Modell zur Verankerung von Six Sigma in der Organisation .....	347
9.5.1.1	Strategie / Strategy .....	348
9.5.1.2	Struktur / Structure .....	349
9.5.1.3	Systeme / Systems .....	350
9.5.1.4	Stil / Style .....	352
9.5.1.5	Stammpersonal / Staff .....	352
9.5.1.6	Spezialfähigkeiten / Skills .....	354
9.5.1.7	Selbstverständnis / Shared values .....	354
9.5.2	Vorgehensplan zur Einführung von Six Sigma .....	355
9.5.2.1	Phase Unfreeze .....	356
9.5.2.2	Phasen Move und Refreeze .....	360
9.6	Problemlösungsprozess nach 8D .....	366
10	<b>Design for Six Sigma</b> .....	377
10.1	Six Sigma in der Entwicklung .....	377
10.2	Abwicklung von PIDOV-Projekten .....	380
10.2.1	Phase <b>Plan</b> .....	380
10.2.1.1	Ausgangssituation beschreiben .....	381
10.2.1.2	Innovationsziel festlegen .....	381
10.2.1.3	Projekt definieren .....	381
10.2.2	Phase <b>Identify</b> .....	381
10.2.2.1	Anforderungen der Kunden ermitteln und analysieren .....	382
10.2.3	Phase <b>Design</b> .....	385
10.2.3.1	Recherchen für Lösungsmöglichkeiten durchführen ....	386
10.2.3.2	Varianten für Produkt / Prozess entwerfen .....	386
10.2.3.3	Varianten für Produkt / Prozess bewerten und Lösungskonzept auswählen .....	391
10.2.4	Phase <b>Optimize</b> .....	391
10.2.4.1	Lösungskonzept für Produkt / Prozess detaillieren .....	391
10.2.4.2	Lösung für Produkt / Prozess optimieren .....	392
10.2.5	Phase <b>Validate</b> .....	398
10.2.5.1	Produkte / Prozesse erproben .....	398
10.2.5.2	Lösungen und Erkenntnisse aufbereiten und verfügbar machen .....	400
10.2.5.3	Projekt abschließen .....	400
10.3	Organisatorische Verankerung von DFSS .....	401
10.3.1	Einbindung von DFSS in den Entwicklungsprozess .....	401
10.3.2	Verankerung von DFSS im Unternehmen .....	403

<b>11 Anhang</b> .....	405
11.1 Wichtige verwendete Abkürzungen .....	405
11.2 Korrekturfaktoren $a_n$ , $c_n$ und $d_n$ .....	407
11.3 Standardisierte Normalverteilung .....	408
11.4 t-Verteilung .....	410
11.5 $\chi^2$ -Verteilung .....	412
11.6 F-Verteilung .....	414
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	417

# 1

## Einleitung

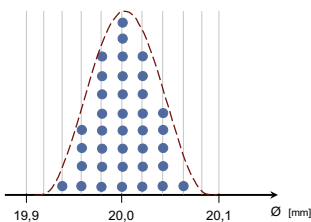
Das Hauptziel von Six Sigma ist die Verbesserung von Produkten und Prozessen. Unternehmen müssen Umsätze erzielen und vor allem Gewinne erwirtschaften. In einem sich ständig verschärfenden Wettbewerb ist es daher notwendig, Produkte und Leistungen in besserer Qualität, in kürzerer Zeit und zu geringeren Kosten als die Mitbewerber zu erstellen. Unternehmen sind gefordert, sich ständig zu verbessern.

### ■ 1.1 Verbesserungsprojekte zur Prozessoptimierung

#### Im Fokus von Six Sigma stehen die Prozesse des Unternehmens

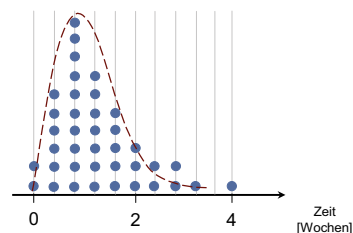
Allgemein formuliert ist ein Prozess eine Reihe von Tätigkeiten, die immer wieder durchlaufen werden und Einsatzfaktoren in Produkte oder Leistungen umwandeln. Einsatzfaktoren tragen zur Leistungserstellung bei und sind zum Beispiel Material, Maschinen und auch die menschliche Arbeit. Im Fokus der Optimierung kann ein Produktionsprozess stehen, wie zum Beispiel die Herstellung von Drehteilen. Es kann sich aber auch um einen Prozess im administrativen Bereich handeln, wie zum Beispiel die Erstellung von Angeboten.

#### ... Optimierung von Produktionsprozessen



**Beispiel:**  
Reduzierung der Streuung  
bei einer Drehoperation

#### ... Optimierung von Geschäftsprozessen



**Beispiel:**  
Reduzierung der Durchlaufzeit  
bis zur Angebotslegung

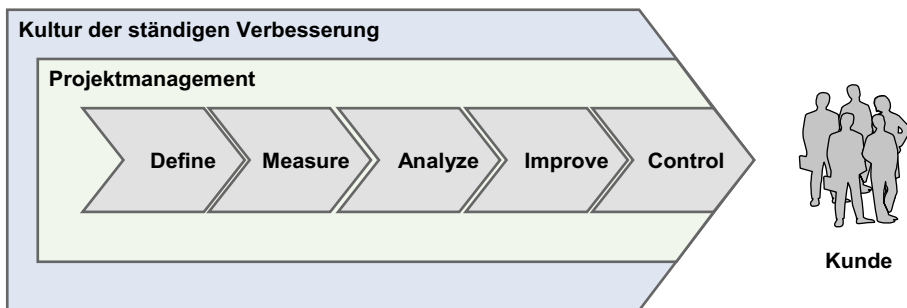
**Bild 1-1** Ansatzpunkte für Six Sigma-Projekte

Bild 1-1 zeigt in der linken Hälfte die gemessenen Durchmesser von Drehteilen. Reduziert man zum Beispiel die Streuung des Durchmessers, dann wird ein größerer Anteil der Produktionsmenge innerhalb der Spezifikationsgrenzen (Kundenforderungen) liegen. Weniger zu verschrottende Teile und weniger Kundenreklamationen bedeuten reduzierte Kosten. Beim Prozess der Angebotslegung beispielsweise kann durch eine geeignete Standardisierung und die Verwendung von Vorlagen die Durchlaufzeit und der Aufwand für ein einzelnes Angebot deutlich verringert werden. Auch dies führt zu reduzierten Kosten.

Ein Prozess betrifft selten isoliert einen Bereich des Unternehmens, sondern durchläuft meist mehrere Bereiche und ist gleichzeitig Teil eines Prozessnetzwerkes im Unternehmen. Es reicht daher nicht aus, einen Prozessschritt zu optimieren, sondern ein systematisches Management der Prozesse ist notwendig. Prozesse müssen identifiziert, gemessen und verbessert werden, um die Wettbewerbsfähigkeit und den Unternehmenserfolg zu gewährleisten.

### Verbesserungsprojekte zur Optimierung von Prozessen

Six Sigma bietet einen strukturierten Ansatz zur Optimierung der Prozesse. Im Kern von Six Sigma steht eine Verbesserungssystematik, die aus den folgenden fünf Schritten besteht.




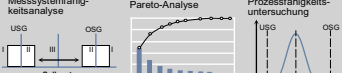

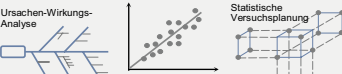

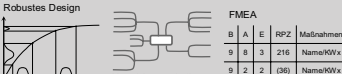

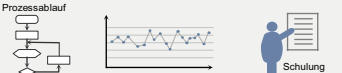


**Bild 1-2** Der konzeptionelle Rahmen von Six Sigma

- Define:** Der zu verbessernde Umfang wird festgelegt. Zudem werden die notwendigen Rahmenbedingungen für das Verbesserungsprojekt geschaffen.
- Measure:** Die gegenwärtige Situation des zu optimierenden Prozesses wird ermittelt. Für die Zielgröße wird der Ausgangszustand auf Basis von konkreten Daten und Fakten erhoben.
- Analyze:** Der Zusammenhang zwischen der Zielgröße und den Einflussfaktoren wird erhoben.
- Improve:** Eine oder mehrere Lösungen werden entwickelt und erprobt. Nach einer Bewertung und Risikoanalyse wird die beste Lösung in die Praxis umgesetzt.
- Control:** Es wird sichergestellt, dass der verbesserte Zustand auch dauerhaft erhalten bleibt.

## Die Six Sigma-Roadmap – Verbessern wird zur Routine

Bild 1-3 zeigt die Vorgehensweise zur Abwicklung von Verbesserungsprojekten in Form der Six Sigma-Roadmap. Jeder Balken beschreibt eine Six Sigma-Phase. Den Phasen zugeordnet sind die Ziele, die Hauptaufgaben, ausgewählte Werkzeuge und die Ergebnisse dargestellt.

Projektmanagement				
Phase	Ziel	Hauptaufgaben	Werkzeuge	Ergebnisse
 <b>Define</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserungsprojekt definieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausgangssituation beschreiben</li> <li>- Prozessüberblick schaffen</li> <li>- Kunden und deren Forderungen ermitteln</li> <li>- Projekt definieren</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überblick über die zu verbessernde Situation</li> <li>- klar definierte Kundenanforderung</li> <li>- unterzeichneter Projektauftrag</li> </ul>
 <b>Measure</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ist-Zustand ermitteln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prozess detaillieren</li> <li>- Vorhandene Daten interpretieren</li> <li>- Daten erfassen und auswerten</li> <li>- Eignung des Prüfsystems sicherstellen</li> <li>- Prozessleistung ermitteln</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- auf Fakten basierendes Verständnis für die zu verbessernde Situation</li> </ul>
 <b>Analyze</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relevante Ursachen identifizieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mögliche Haupteinflussgrößen identifizieren</li> <li>- Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge ermitteln und darstellen</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- nachgewiesene Zusammenhänge zwischen Ursachen und Wirkungen</li> </ul>
 <b>Improve</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lösung entwickeln und erproben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lösungsvarianten entwickeln</li> <li>- Lösungen bewerten und Lösung auswählen</li> <li>- ausgewählte Lösung erproben und Wirksamkeit nachweisen</li> <li>- Implementierung planen</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- optimierte und erprobte Lösung</li> <li>- Freigabe für die Implementierung</li> </ul>
 <b>Control</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- optimierte Lösung implementieren und nachhaltig absichern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lösung organisatorisch verankern</li> <li>- Verbesserung nachhaltig absichern</li> <li>- Projekt abschließen</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- verbesserter Zustand nachhaltig abgesichert und vom Prozesseigner übernommen</li> <li>- bewertete Verbesserungen und Einsparungen</li> <li>- formaler Projektabschluss</li> </ul>

**Bild 1-3** Die Six Sigma-Roadmap

Die Hauptaufgaben entsprechen den Arbeitspaketen im Projektstrukturplan. An ihnen orientiert sich die gesamte Abwicklung des Projektes. Während der Planung des Projektes unterstützen die Hauptaufgaben bei der Festlegung der notwendigen Aufgaben, bei der Planung der Termine sowie bei der Abschätzung der erforderlichen Ressourcen. Orientiert man die Projektpräsentationen und das Projektreporting an den Hauptaufgaben, so können sich Außenstehende rasch einen Überblick über das Projekt verschaffen. Nicht zuletzt hilft diese Struktur auch dem Projektteam, sich nicht im Detail zu verlieren. Ein regelmäßiger Blick auf die Gesamtstruktur des Projektes hilft zu überprüfen, ob man auch die richtigen Dinge tut.

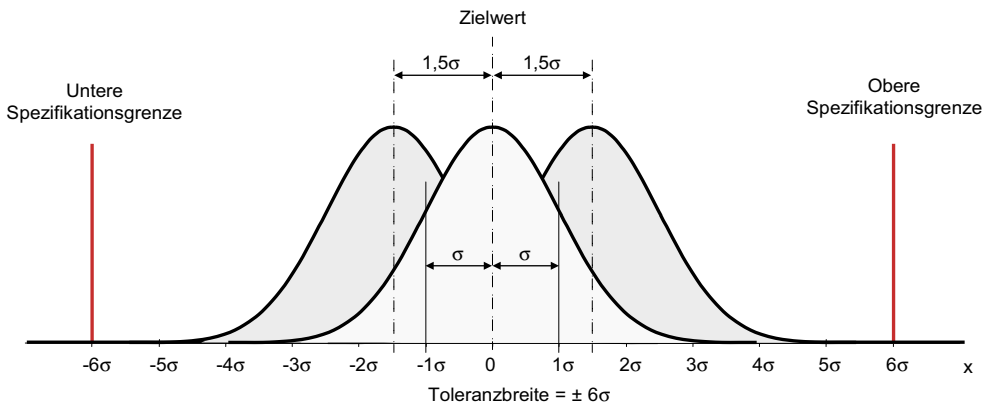
Die Hauptaufgaben ermöglichen es dem Projektteam, die richtigen Schritte zu setzen und zum richtigen Zeitpunkt die geeigneten Werkzeuge anzuwenden. Beim ersten Projekt ist dies für das Projektteam meist noch sehr schwierig, beim zweiten Projekt läuft es schon etwas leichter. Beim dritten Projekt wird schon sehr geschickt ein Schritt nach dem anderen gesetzt. Darin liegt eines der Erfolgsgeheimnisse von Six Sigma: Verbessern wird zur Routine!

### Six Sigma – ein geheimnisvoller Name für ein Verbesserungsprogramm

Bild 1-4 zeigt die Normalverteilung, häufig auch als Gauß'sche Glockenkurve bezeichnet. Wie wir später noch feststellen werden, ist  $\sigma$  ein Maß für die Streubreite der Normalverteilung, also für die Breite dieser Glocke.

Der Name Six Sigma ist aus dem Ziel der Prozessoptimierung abgeleitet. Er beschreibt die Güte des Prozesses, die man erreichen will. Die mittlere SPC Kurve in Bild 1-4 zeigt einen





**Bild 1-4** Der Six Sigma-Prozess (nach der Definition von Motorola)

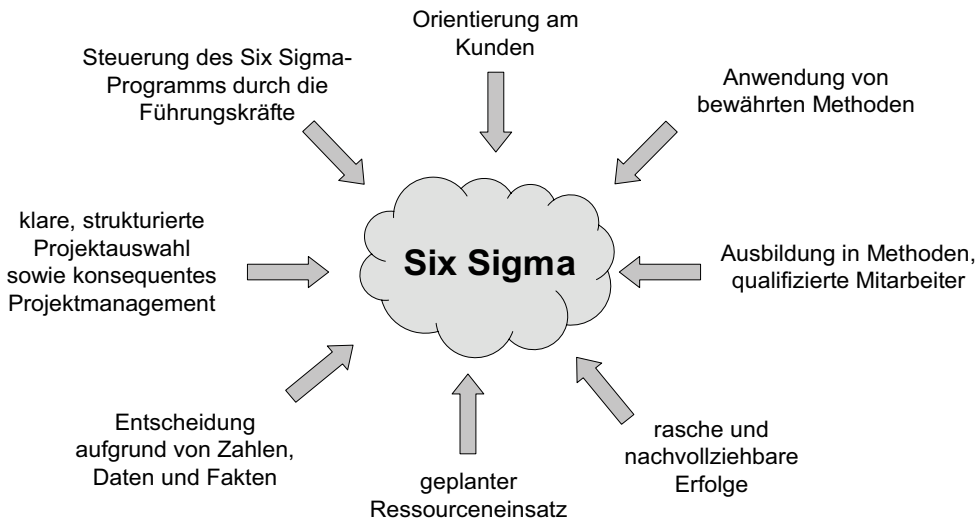
innerhalb der Toleranzgrenzen zentrierten Prozess, dessen Streubreite so gering ist, dass die Standardabweichung  $\sigma$  insgesamt 12-mal innerhalb der Spezifikationsgrenzen untergebracht werden kann (sechsmal links und sechsmal rechts des Mittelwertes).

In der Praxis wird dieser Prozess im Laufe der Zeit etwas um die Mittellage schwanken. Für die Berechnung geht man von einer Verschiebung der Normalverteilung um  $1,5 \sigma$  nach links oder nach rechts aus. Für diese verschobene Prozesslage (deren Mittelwert nun noch  $4,5 \sigma$  von der Toleranzgrenze entfernt ist) wird der Fehleranteil berechnet. Das Bild erweckt den Eindruck, dass der Fehleranteil gleich null sein muss. Die Normalverteilung berührt jedoch nur scheinbar die x-Achse. Tatsächlich nähert sich die Kurve asymptotisch der x-Achse an und berührt sie erst im Unendlichen. Daher existiert auch eine Fläche unter der Kurve außerhalb der Spezifikationsgrenzen. Diese Fläche entspricht dem Fehleranteil und beträgt für den um  $1,5 \sigma$  verschobenen Prozess etwa 3,4 Fehler pro Million Möglichkeiten.

Dieses Ziel wird für viele Merkmale und auch viele Branchen unerreichbar sein. Im Vordergrund steht auch weniger dieser Zielwert, sondern die Verbesserung der aktuellen Situation. Ein typisches Ziel wäre, dass man für die qualitätskritischen Merkmale eine Verbesserung von 50% pro Jahr anstrebt. Damit ist im Regelfall immer eine wirtschaftliche Verbesserung verbunden.

## ■ 1.2 Erfolgsfaktoren für Six Sigma

Die Elemente von Six Sigma sind weder neu noch revolutionär. Die Besonderheit des Programms liegt in der Gesamtkomposition. Dies startet bei der Steuerung des Six Sigma-Programms durch die Führungskräfte und reicht über den Einsatz schlagkräftiger Werkzeuge und der damit verbundenen Mitarbeiterqualifikation bis hin zum zielgerichteten Ressourceneinsatz durch konsequentes Projektmanagement. Auf diese Aspekte soll im folgenden Abschnitt eingegangen werden.



**Bild 1-5** Die Erfolgsfaktoren für Six Sigma

### Steuerung des Six Sigma-Programms durch die Führungskräfte

Wie bei allen vergleichbaren Programmen zählt die Unterstützung durch die Leitung zu den wichtigsten Erfolgsfaktoren. Der Anstoß für Six Sigma kommt häufig vom Eigentümer oder auch vom Kunden. Six Sigma einzuführen ist eine strategische Entscheidung, die durch die Unternehmensleitung getroffen werden muss.

Der langfristige Erfolg hängt in hohem Maße vom Commitment und Engagement der Geschäftsführung ab. Umgekehrt zeigt die Erfahrung, dass die Ursachen einer gescheiterten Einführung von Six Sigma meist darin liegen, dass die Unternehmensleitung Six Sigma nicht verstanden und auch die notwendigen Rahmenbedingungen nicht geschaffen hat.

Lippenbekenntnisse alleine reichen nicht aus. Die Unternehmensleitung muss von Six Sigma überzeugt sein und den Bedarf für Verbesserung im Unternehmen erkennen. Der Erfolg von Six Sigma muss von den Mitarbeitern als persönliches Anliegen des Geschäftsführers empfunden werden.

Six Sigma ist das Werkzeug, mit dem die Unternehmensleitung und die Führungskräfte aktiv die Verbesserungen im Unternehmen steuern. Die wesentlichen Aufgaben dabei sind:

- Einführen des Verbesserungsprogramms (z.B. Mitarbeiter auswählen und ausbilden)
- Schaffen und Aufrechterhalten der Erfolgsfaktoren (z. B. Ressourcen bereitstellen, Mitarbeiter motivieren)
- Auswählen von Projektthemen und Beauftragen der Projekte
- Verfolgen der Projektfortschritte und Unterstützen bei Schwierigkeiten
- Sicherstellen der nachhaltigen Umsetzung der Projektergebnisse

## Orientierung am Kunden

Verbesserungsprojekte zielen darauf ab, die Kundenzufriedenheit zu erhöhen und die Kosten zu reduzieren. Um die Kundenzufriedenheit verbessern zu können, muss bekannt sein, was dem Kunden wichtig ist und was dem Kunden vielleicht weniger wichtig ist. Jedes Verbesserungsprojekt startet daher mit einer eingehenden Analyse der Kundenforderungen. Dies beschränkt sich nicht auf den externen Kunden, sondern gilt auch für gegebenenfalls vorhandene interne Kunden.

Die Einbindung des Kunden kann von einer Kundenbefragung zur Identifikation der für den Kunden wichtigen Merkmale bis hin zur gemeinsamen Abwicklung von Verbesserungsprojekten mit dem Kunden reichen.

## Anwendung von bewährten Methoden

Gerade in den USA wurde Six Sigma häufig als neu und revolutionär dargestellt. Eine so radikale Reklame kommt in Europa nicht an, sondern führt eher zu einer Ablehnung.

Bei genauerer Betrachtung trifft man auf viel Bekanntes. Insbesondere die im Rahmen von Six Sigma-Projekten eingesetzten Werkzeuge und Methoden sind nicht neu. Das ist auch gut so, denn es handelt sich um bewährte und erprobte Werkzeuge. Beispiele dafür sind die Messsystemanalyse, die Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse und natürlich die Statistische Versuchsmethodik. Die meisten dieser Werkzeuge sind in den Unternehmen bekannt bzw. werden erfolgreich eingesetzt. Six Sigma vernetzt diese Werkzeuge und fokussiert sie im Zuge eines Verbesserungsprojektes auf eine Aufgabenstellung.

Relativ neu ist der breite Einsatz von Softwarepaketen bei der Verwendung dieser Werkzeuge und Methoden. Dies zeigt sich am Beispiel der Statistischen Versuchsmethodik. Obwohl dieses Verfahren sehr schlagkräftig ist, wurde es in der Industrie bis vor wenigen Jahren kaum eingesetzt. Die Erstellung von Versuchsplänen und Auswertung von Versuchen ist bei händischer Rechnung viel zu aufwendig. Erst mit der Verfügbarkeit von Softwarepaketen, die dem Benutzer alle Rechenaufgaben abnehmen, hat die Methodik breiteren Einzug in die Unternehmen gefunden. Dies ist ein wichtiger Baustein für den Erfolg von Six Sigma.

## Ausbildung in Methoden, qualifizierte Mitarbeiter

Um die angesprochenen Werkzeuge und Methoden einzusetzen, sind die Mitarbeiter auch entsprechend zu qualifizieren. Dabei wird vor allem zwischen folgenden Rollen unterschieden:

**Champions** – die Rolle der Champions wird von Führungskräften wahrgenommen. Sie leiten die praktische Umsetzung des Six Sigma-Programms. Als Auftraggeber der Verbesserungsprojekte beauftragen sie den Black Belt / Green Belt und sein Team mit der Optimierung eines Prozesses. Sie stellen die notwendigen Ressourcen bereit, unterstützen das Projekt und beseitigen Barrieren. Vor allem durch die Auswahl der Mitarbeiter und der Six Sigma-Projekte bestimmen die Champions wesentlich den Erfolg bzw. den Misserfolg des Six Sigma-Programms.

**Master Black Belts** unterstützen die Champions bei der Auswahl der Mitarbeiter für das Six Sigma-Programm. Ebenso unterstützen sie bei der Auswahl und Festlegung der Verbesserungsprojekte. Sie trainieren und coachen alle Mitarbeiter im Six Sigma-Programm, führen aber auch selbst besonders anspruchsvolle Projekte durch. Darüber hinaus nehmen sie die wichtige Rolle des Veränderungsmanagers wahr. Sie unterstützen die Leitung bei der Schaffung der organisatorischen Rahmenbedingungen zur nachhaltigen Absicherung von Six Sigma.

**Black Belts** kommt die tragende Rolle in der Umsetzung von Six Sigma zu. Sie unterstützen die Champions bei der Auswahl der Six Sigma-Projekte und setzen diese Verbesserungsprojekte mit Unterstützung ihres Teams um. Ihre Aufgaben im Projekt reichen von der Führung des Teams bis hin zur Unterstützung bei der Anwendung der Werkzeuge im Tagesgeschäft. Daher werden Black Belts zumindest in großen Unternehmen für Six Sigma Aktivitäten freigestellt.

**Green Belts** arbeiten in Six Sigma-Projekten mit oder übernehmen wie Black Belts die Leitung von Six Sigma-Projekten. Auch die Green Belts sind sehr wichtig für den Erfolg des Six Sigma-Programms, denn durch sie erreicht man eine große Breitenwirkung im Unternehmen. Green Belts sind üblicherweise nur zum Teil für die Arbeit in Six Sigma-Projekten freigestellt.

**Yellow Belts / White Belts** bringen ihr fachliches Wissen in die Six Sigma-Projekte ein. Eine weitere sehr wichtige Rolle kommt dieser Gruppe nach Abschluss des Projektes zu. Yellow Belts und White Belts sorgen dafür, dass die erarbeitete Verbesserung dauerhaft aufrecht erhalten bleibt.

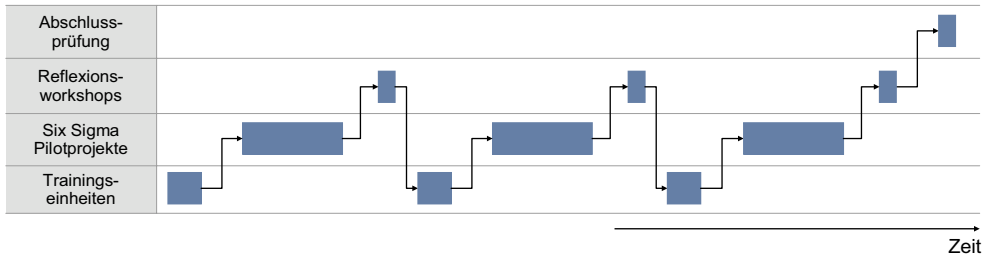
Die Anzahl der für die jeweilige Rolle qualifizierten Mitarbeiter hängt von Art und Umfang der Six Sigma-Initiative ab. Eine allgemeine Richtlinie sieht den Einsatz eines Black Belts pro 100 Mitarbeiter und etwa 20 Green Belts für einen Black Belt vor [1]. Die Erfahrung zeigt, dass dieser Anteil zumindest im deutschsprachigen Raum selten erreicht wird. Andererseits lassen sich auch mit fünf Green Belts pro Black Belt bereits gute Ergebnisse erzielen. Die Anzahl der Yellow Belts / White Belts kann nie groß genug sein. Die gesteigerte Problemlösungskompetenz dieser Mitarbeiter wirkt sich nicht nur auf die Six Sigma-Projekte, sondern auch auf das Tagesgeschäft nutzbringend aus.

Die Ausbildungsprogramme sind weitgehend standardisiert und auf die Six Sigma-Rollen ausgerichtet. Die folgende Tabelle zeigt ein Beispiel für ein Qualifikationsprogramm.

**Tabelle 1-1** Beispiel für Aufgaben und Qualifikation im Six Sigma-Programm

Rolle	Wesentliche Aufgaben	Form der Qualifikation / Abschluss
White Belt	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ hält den optimierten Zustand im Tagesgeschäft aufrecht</li> </ul>	Ausbildung im Umfang von 0,5 Trainingstagen
Yellow Belt	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ wirkt als Prozessexperte aktiv in Six Sigma-Projekten mit</li> <li>■ hält den optimierten Zustand im Tagesgeschäft aufrecht</li> </ul>	Ausbildung im Umfang von 2 Trainingstagen Abschlussprüfung
Green Belt	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ leitet Six Sigma-Projekte</li> <li>■ wirkt als Prozessexperte aktiv in Six Sigma-Projekten mit</li> <li>■ hält den optimierten Zustand im Tagesgeschäft aufrecht</li> </ul>	Ausbildung im Umfang von 10 Trainingstagen und begleitende Abwicklung eines Verbesserungsprojektes Abschlussprüfung und Abschluss eines Verbesserungsprojektes mit einer Einsparung von mindestens € 5.000.-
Black Belt	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ leitet Six Sigma-Projekte</li> <li>■ unterstützt Green Belts beim Einsatz komplexer Werkzeuge und Methoden</li> </ul>	Ausbildung im Umfang von 20 Trainingstagen und Abwicklung von zwei Verbesserungsprojekten Prüfung und Abschluss von zwei Verbesserungsprojekten (eines davon mit einer Einsparung von mindestens € 50.000.-)
Master Black Belt	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ leitet Six Sigma-Projekte</li> <li>■ unterstützt Green Belts und Black Belts beim Einsatz komplexer Werkzeuge und Methoden</li> <li>■ trainiert Six Sigma im Unternehmen</li> <li>■ unterstützt die Leitung bei der organisatorischen Verankerung von Six Sigma</li> </ul>	Ausbildung baut auf der Ausbildung des Black Belts auf und ist nicht standardisiert. Folgende Themen sind häufig Inhalt der Ausbildung: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Organisatorische Verankerung von Six Sigma, Veränderungsmanagement</li> <li>■ Train the Trainer</li> <li>■ Vertiefung in den eingesetzten Werkzeugen</li> </ul>
Champion	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ legt Aufgabenstellung für Six Sigma-Projekte fest und beauftragt die Projekte</li> <li>■ stellt Ressourcen bereit</li> <li>■ verfolgt den Fortschritt der Six Sigma-Projekte</li> <li>■ beseitigt Barrieren</li> <li>■ stellt die nachhaltige Umsetzung der Projektergebnisse sicher</li> </ul>	Ausbildung im Umfang von 1 bis 2 Trainingstagen

Die Ausbildung zum Green Belt und Black Belt ist meist als abgestimmte Kombination aus Training, Umsetzung in die betriebliche Praxis sowie Reflexion der individuell gemachten Erfahrungen aufgebaut. Bild 1-6 zeigt ein Beispiel für den Aufbau von Green Belt-Qualifikationsprogrammen.



**Bild 1-6** Beispiel für ein Qualifikationsprogramm zum Six Sigma-Green Belt

Die erste Trainingseinheit dauert zwei Tage und startet mit einem Überblick über Six Sigma. Anschließend werden die im Zuge von Six Sigma einzusetzenden Projektmanagement-Werkzeuge und Grundlagen der Statistik besprochen. Den Abschluss bildet die Erläuterung der Phase **Define**.

Nach den ersten Trainingseinheiten beginnen die Teilnehmer das Gelernte in ihrem Unternehmen an einem ausbildungsbegleitenden Six Sigma-Pilotprojekt anzuwenden. Durch die Projektdurchführung festigen die Mitarbeiter das erworbene Wissen und realisieren gleichzeitig Qualitätsverbesserungen und Einsparungen für ihr Unternehmen.

Den Abschluss des ersten Zyklus bildet der erste Reflexionsworkshop. Die Teilnehmer präsentieren ihren Kollegen die Ergebnisse ihrer Arbeit und haben so die Möglichkeit, viel an Erfahrung zu sammeln, da sie ja auch an den Erfahrungen der Projekte ihrer Kollegen partizipieren.

Im zweiten Zyklus werden die Phasen **Measure / Analyze** und im dritten Zyklus die Phasen **Improve / Control** behandelt. Nach dem zweiten und dritten Trainingsblock bearbeiten die Teilnehmer ihre Pilotprojekte weiter. Mit dem Abschluss dieser Ausbildung sind die Teilnehmer in der Lage, selbstständig Verbesserungsprojekte abzuwickeln.

Auch die Ausbildung zum Black Belt ist ähnlich aufgebaut. Der Unterschied zur Green Belt Ausbildung liegt vor allem darin, dass die eingesetzten Werkzeuge sehr viel detaillierter behandelt werden und zusätzliche Projekte umgesetzt werden müssen.

### Rasche und nachvollziehbare Erfolge

Ein entscheidender Vorteil von Six Sigma ist, dass Erfolge rasch realisiert werden. Wie dargestellt, wickeln Green Belts und Black Belts während ihrer Ausbildung Verbesserungsprojekte ab und erzielen damit bereits während der Ausbildung Qualitätsverbesserungen und Einsparungen für ihr Unternehmen. Aus unserer Erfahrung liegt die durchschnittliche Netto-Einsparung pro Projekt bei Serienherstellern in der Größenordnung von etwa € 50.000.- und übersteigt damit bei weitem die Ausbildungskosten.

Der wirtschaftliche Nutzen des Projektes wird durch den „Net Benefit“ (Netto-Einsparung) belegt. Alle Berechnungen und Schätzungen zur Ermittlung dieser Größe müssen nachvoll-

ziehbar sein. Daher ist es notwendig, klare Festlegungen zur Berechnung des Net Benefits zu treffen.

- **Kosten:** Alle von Projektbeginn bis zu Projektabschluss durch das Projekt verursachten Kosten werden berücksichtigt. Vor allem betrifft dies Personalkosten, aber auch Materialkosten und beispielsweise Maschinenkosten für die Durchführung von Versuchen.
- **Nutzen:** Als Nutzen des Projektes werden üblicherweise die ausgabewirksamen Einsparungen während der 12 Monate ab Abschluss des Projektes gerechnet.
- **Net Benefit:** Der Net Benefit ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Nutzen und den Kosten für das Verbesserungsprojekt.

Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass eine auf den Cent genaue Berechnung des Projekterfolges in vielen Fällen nicht möglich ist, da ein Teil des vom Projekt erbrachten Nutzens nicht monetär zu fassen ist. Die Einsparungen durch reduzierten Ausschuss oder reduzierte Gewährleistungskosten wird man noch relativ leicht erfassen können. Schwieriger hingegen ist die monetäre Bewertung von erhöhter Kundenzufriedenheit.

Eine Berechnung der Kosten und Einsparungen auf zwei Nachkommastellen genau ist auch nicht notwendig. Hauptziel der Berechnung des Net Benefits ist es, als Entscheidungsgrundlage für den zielgerichteten Einsatz der begrenzten Ressourcen zu dienen. Auch wenn man im Einzelfall um 10% falsch liegt, wird man insgesamt die richtigen Dinge tun.

Auf der Kostenseite stellt sich häufig die Frage nach der Zuordnung der Ausbildungskosten. Diese werden üblicherweise nicht in die Kosten eines Six Sigma-Projektes eingerechnet, sondern bei der Betrachtung des gesamten Six Sigma-Programms berücksichtigt.

### **Geplanter Ressourceneinsatz**

Gerade an ausreichenden Ressourcen mangelt es meist in den Unternehmen. Green Belts bzw. Black Belts werden für ihre Projektarbeit nicht freigestellt, sondern erhalten diese Aufgabe zusätzlich zu ihren bestehenden Aufgaben. Auch in den Fachbereichen kommt es zu Kapazitätsengpässen, die Ressourcen stehen nicht zur Verfügung.

Six Sigma wirkt dem häufig gemachten Fehler entgegen, dass Projekte zwar mit großem Aufwand gestartet werden, dann aber mangels Ressourcen im Sand verlaufen. Während der Umsetzung des Projektes wird plötzlich anderen Themen höhere Priorität eingeräumt. Die Ressourcen aus einzelnen Fachbereichen stehen dann dem Verbesserungsprojekt nicht mehr zur Verfügung. Anfällige Bereiche dafür sind beispielsweise Zentralbereiche wie Werkzeugbau und Instandhaltung. Sind diese Bereiche unterbesetzt, stehen sie möglicherweise mitten im Verbesserungsprojekt nicht mehr zur Verfügung. Die Projekte geraten ins Stocken und werden nie zu Ende gebracht. Der Nutzen für das Unternehmen ergibt sich meist erst ab der Verwertung der Projektergebnisse. Nicht abgeschlossene Projekte sind daher Verschwendung von Ressourcen! Man hat Ressourcen investiert, ohne jemals einen Nutzen zu erhalten. Eine nicht außer Acht zu lassende weitere Folge ist die Frustration des restlichen Projektteams.

Bei Six Sigma-Projekten wird dem entgegengewirkt, indem der Ablauf des Verbesserungsprojektes standardisiert ist. Die für die Abwicklung des Projektes notwendigen Ressourcen

können durch die in der Grundstruktur standardisierte Projektdurchführung leichter abgeschätzt werden. Wenn von Anfang an erkennbar ist, dass die Ressourcen aus einem oder mehreren Bereichen nicht verfügbar sind, darf das Projekt nicht gestartet werden. Auch dies ist eine wichtige Information für das Management: Verbesserungspotenzial ist vorhanden, kann jedoch nicht gehoben werden, weil die Ressourcen nicht zur Verfügung stehen. Mit dieser Information kann man häufig vorhandene Sub-Optima (z.B. Reduktion der Instandhaltungskosten), die sich allerdings negativ auf das Gesamtoptimum (Ausbringung) auswirken, aufdecken.

Natürlich kann es trotzdem vorkommen, dass durch unvorhergesehene Ereignisse mitten im Projekt Ressourcen nicht mehr zur Verfügung stehen. Bei Six Sigma wird das Projekt nicht klammheimlich im Sand verlaufen, sondern spätestens beim nächsten Projektreporting wird der Ressourcenmangel evident. Ressourcenmangel ist ein typisches Problem, das nicht vom Projektteam gelöst werden kann. Es ist Aufgabe des Champions bzw. Projektauftraggebers, diese Barriere zu beseitigen oder den Projektauftrag zurückzuziehen.

### **Entscheidungen aufgrund von Zahlen, Daten und Fakten**

Entscheidungen werden häufig auf Basis von Meinungen getroffen. Diese Meinungen unterscheiden sich oft von der Realität. Manchmal wurden zufällige Effekte beobachtet. Ebenso kann es sein, dass sich die Prozessleistung durch Umstellungen im Prozess verändert hat. Dies führt zur häufig praktizierten Probiermethode: Man dreht an der einen Schraube, dann an der anderen Schraube und hofft, dass das Ergebnis des Prozesses den Vorgaben entspricht. Man hat kein Wissen über den Prozess gesammelt, und nach einer Umstellung beginnt das Spiel von vorne.

In Six Sigma-Projekten werden Entscheidungen auf Basis von Zahlen, Daten und Fakten getroffen. „In God we trust, all others must bring data“ soll der Leitspruch nach W. Edwards Deming<sup>1</sup> sein. Datenanalyse ist wie die Arbeit eines Detektivs. Man nutzt Daten, um Informationen über den Prozess zu erhalten. Schlagkräftige Werkzeuge werden zur Entscheidungsfindung eingesetzt. Die Zusammenhänge im Prozess werden auf fundierter Basis beschrieben.

### **Klare, strukturierte Projektauswahl sowie konsequentes Projektmanagement**

Die klare und strukturierte Auswahl, verbunden mit einer konsequenten Abwicklung der Projekte, ist wohl einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren für Six Sigma. Viele Ideen für Projekte werden gesammelt, und die besten davon werden ausgewählt. Die Anzahl der gestarteten Projekte richtet sich nach den verfügbaren Ressourcen im Unternehmen. Ein konsequentes Management der Projekte sorgt dafür, dass die Projekte nicht im Sand verlaufen, sondern in der vorgesehenen Zeit zu Ende gebracht werden und der geplante Nutzen auch erzielt wird.

---

<sup>1</sup> William Edwards Deming (1900 – 1993) war ein amerikanischer Qualitätspionier, der einen entscheidenden Beitrag zur weltweiten Entwicklung des Qualitätsmanagements geleistet hat. Zu seinen Ehren wurde 1951 in Japan der Deming-Prize als einer der ersten Qualitätspreise eingeführt.



# Stichwortverzeichnis

## Symbole

5S 269  
7-S-Modell 348  
8D-Methode 366  
8D-Report 374  
40 Innovative Prinzipien 389

## A

Ablauforganisation, Anpassung der 329,  
350, 364  
Alias-Struktur 251  
Analysis of Variance 204  
Annahme-Regelkarte 304  
ANOVA 204  
Appraiser Variation 130  
Asymmetrie 50  
- Audit-Checklisten 311  
Aufbauorganisation, Anpassung der 321,  
349, 364  
Auflösung 115, 252  
- Einfluss der 121  
Aufwand 334  
Ausbeute 175

## B

Bestimmtheitsmaß 216  
Bias 116  
Binomialverteilung 305  
Black Belt 7, 326  
- Kandidaten 353  
Blindleistung 184  
Blockbildung 227  
Box Plot 96  
Brainstorming 262

## C

Capability 155  
Central Composite Design 230  
Champion 6, 322  
Confidence Interval 72  
Control Plan 308  
Critical to Quality 79  
Crystal Ball 282  
CTQ 79

## D

Datenerfassungsplan 108  
Datenschichtung 110  
Datenzerlegung 111  
Defects Per Million Opportunities 174  
Defects Per Million Units 174  
Design for Six Sigma 377  
Design Generator 253  
Design Verification Plan and Report 399  
DFSS 377  
- in der Produkt- und Prozessentwicklung 403  
- in der Serienproduktion 403  
- in der Technologieentwicklung 403  
DMAIC-Vorgehensmodell 2  
Dotplot 93  
DPMO 174  
DPMU 174  
Dreiphasenmodell nach Lewin 356  
Durchlaufzeitanalyse 184

## E

Effekt 226  
- Berechnung 236  
- signifikant 106, 196  
- zufällig 106, 196

- Einflüsse 186
  - auf Prozess 289
  - auf Prüfprozesse 115
  - besondere 148, 292, 301
  - gewöhnliche 148
  - zufällige 292
- Eingriffsgrenzen 293 ff.
- Einsparungen 334
- Einzelprojektmanagement 330
- Einzelwertkarte 294
- Einzelwertverlauf 90
- Equipment Variation 129
- Erfolgsfaktoren für Six Sigma 4
- erweiterte Messunsicherheit 139
- EWMA-Regelkarten 303
- Excess 51
- F**
- Fähigkeitsindizes 149
  - für nicht normalvert. Merkmale 172
  - für normalvert. Merkmale 165, 168
  - nach SPC-Referenzhandbuch 155
- Fähigkeit von Prozessen 148
- Faktoren 227
  - qualitative 231
  - quantitative 231
- Fault Tree Analysis 279
- Fehler 1. Art 193
- Fehler 2. Art 193
- Fehlerbaumanalyse 279
- Fehlerhafte Teile pro Million Teilen 174
- Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse 273
- Fehler pro Million Einheiten 174
- Fehler pro Million Möglichkeiten 174
- Fehlersammelkarte 108
- Fehlhandlungsvermeidung 269
- Fehlleistung 184
- First Pass Yield 175
- Fischgräten-Diagramm 87
- FMEA 273
- Formen der Verbesserungsarbeit 316
- FPY 175
- Fraktionelle faktorielle Versuchspläne 230
- Freigabe
  - von Produkt 283
  - von Prozess 283
- Freiheitsgrad 50
- Funktionsanalyse 388
- G**
- Gesamtanlageneffizienz 177
- Gesamtausbeute 175
- Gesamtprozessfähigkeit 167
- Green Belt 7, 328
  - Kandidaten 353
- GR&R-Study 129
- Grundgesamtheit 30
- H**
- Häufigkeiten 29
- Häufigkeitsdiagramm 93
- Haupteffekte 226, 244
- Histogramm 93
- Hypothesentest
  - Entscheidungsfehler 193
  - Paarweiser t-Test 203
  - Test auf Verteilungsform 59
  - Test von Hypothesen mit Kreuz-tabellen 204
  - t-Test 195
  - Übersicht 210
  - u-Test 189
  - Varianzanalyse 204
- I**
- iGrafx Process 281
- Individual Chart 91
- Informationsflussanalyse 185
- Inspektion 290
- Instandsetzung 290
- Irrtumswahrscheinlichkeit 43, 69
- Ishikawa-Diagramm 87, 264
- K**
- Kano-Modell 382
- Kartenabfrage 263
- Kennzahlen- und Reportingsystem 352, 365
- K-Faktoren 136
- Komponententausch 220
- Korrelation 211
- Korrelationskoeffizient 212
- Kostenanalyse 184

Kreativitätstechnik 262  
 Kreuztabellen 144  
 Kurtosis 51  
 Kurzzeitbetrachtung 176  
 KVP  
 - Experten-KVP 317  
 - Methoden-KVP 317  
 - Mitarbeiter-KVP 316

## L

Lagespur 296  
 Langzeitbetrachtung 176  
 Lean Management 317  
 Leistungsanalyse 185  
 Leistung von Prozessen 149  
 Lessons Learned 310  
 Lewin 356  
 Linearität 118, 127  
 Linearity 118

## M

Macro Process Mapping 76  
 Maschinenfähigkeit 154  
 Master Black Belt 7, 328  
 Median 49  
 Medianzyklen-Diagramm 92  
 Merkmale  
 - diskrete 30, 182  
 - kontinuierliche 30, 182  
 - stetige 30  
 Merkmale mit erhöhter Bedeutung 81  
 Merkmalsarten 29  
 Messbeständigkeit 138  
 Methode 635 264  
 Methode der kleinsten Quadrate 214  
 Methode der Signalerkennung 143  
 Mind-Map 88  
 Mindmapping 264  
 Mittelwert  
 - arithmetischer 49  
 - geometrischer 49  
 Mittelwert- und Spannweiten-Verfahren  
 130  
 Modalwert 49  
 Modeling Design 230  
 move 360  
 MTM-Verfahren 269

Multiprojektmanagement 330  
 Multi-Vari-Chart 98

## N

ndc 134  
 Net-Benefit 9  
 Nichteingriffswahrscheinlichkeit 293  
 Nichtlinearität 258  
 - Prüfung auf 237  
 Normalverteilung 38  
 - Verteilungsfunktion 45  
 - Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion  
 45  
 - Wahrscheinlichkeitsnetz 45  
 number of distinct categories 134  
 Nutzleistung 184  
 Nutzwertanalyse 272

## O

one factor at a time 229  
 Ordnung und Sauberkeit am Arbeitsplatz  
 269

## P

Paarweiser Vergleich 102  
 Pareto-Analyse 97  
 Parts Per Million 174  
 PDCA-Zyklus 315  
 Performance 155  
 Phase  
 - Analyze 181  
 - Control 287  
 - Define 75  
 - Improve 261  
 - Measure 83  
 PIDOV-Vorgehensmodell 378  
 Pilotprojekte 356  
 Pink X 102  
 Plackett-Burman-Versuchspläne 254  
 Poisson-Verteilung 305  
 Poka Yoke 269  
 Pooling 248  
 Potenzielle Prozessfähigkeit (innerhalb)  
 167  
 PPM 174  
 Pre-Control-Regelkarten 304  
 Probability Plot 45

Probiermethode 229  
 Process Sigma 174  
 Production Part Approval Process 283  
 Produktionsteilfreigabe 283  
 Project Charter 16  
 Projekt
 

- Abnahme 344
- Abschluss 23, 310, 342
- Abschlussbericht 24
- Auftraggeber 322
- Auswahl 14, 331
- Beauftragung 331
- Bewertung 331
- Controlling 21, 339f.
- Dokumentation 23
- Evaluierung 344
- Identifikation 331
- Kommunikation 22
- Kostenplanung 21
- Portfolio 22
- Projektauftrag 16, 338, 360
- Projektorganisation 18
- Projektsteuerkreis 22
- Projektstrukturplan 15, 361
- Review 22
- Start 337
- Statusbericht 339, 342
- Terminplanung 20
- Ziele 16

 Prozessdatenanalysen 183  
 Prozessfähigkeit 148
 

- kritische 151
- potenzielle 149

 Prozessleistung 149
 

- Arten der 86
- ermitteln 147

 Prozessregelung
 

- Eingriffsgrenzen 297
- mit erweiterten Grenzen 303
- mit gleitenden Kennwerten 302
- nach Einzelwerten 294
- nach Lage und Streuung 295
- Statistische 290

 Prozesssimulation 281  
 Prozessstabilität 148  
 Prüfung
 

- Arten der 112
- attributive 140

- lehrende 112
- messende 112
- subjektive 112

 Punktdiagramm 93  
 p-Wert
 

- Statistische Versuchsplanung 242
- Systematische Messabweichung 123
- Test auf Verteilungsform 59
- u-Test 192
- Varianzanalyse 209

 p-Werte 92

## Q

Qualifizierung von Mitarbeitern 9, 289, 327, 353, 365  
 Qualitätsanalyse 184  
 Quality Function Deployment 383

## R

Randomisierung 228  
 Range 50  
 Red X 102  
 refreeze 360  
 Regelgrenzen 295  
 Regelkarte 294
 

- für diskrete Merkmalswerte 305
- für fehlerhafte Einheiten pro Stichprobe 306
- für Fehler pro Einheit 307
- händisch geführte 296

 Regressionsanalyse 211  
 Reifegrad bzgl. Six Sigma 345  
 Repeatability 116, 129  
 Reproducibility 117, 130  
 Residuenanalyse 218, 243  
 Resolution 252  
 Ressourcen-Checkliste 388  
 Risikoprioritätszahl 275  
 Roadmap
 

- für 8D-Problemlösungstechnik 371
- für DMAIC-Projekte 3
- für PIDOV-Projekte 380

 Rolled Throughput Yield 175  
 Rosa X 102, 221, 224  
 Rotes X 102, 221, 224  
 RTY 175  
 Run Chart 92

**S**

$s^2_{\text{between}}$  205  
 $s^2_{\text{within}}$  205  
 Schichtungskriterien 110  
 Schiefe 50  
 Schluss
 

- direkter 31, 63
- indirekter 31, 68

 Schnelles Rüsten 266  
 Screening Design 230  
 Selbstverständnis 354  
 Shewhart-Regelkarten 300  
 Short Method 142  
 Sigma-Level 175  
 signifikante Unterschiede 106  
 Signifikanz
 

- Beurteilung der 238

 SIPOC-Analyse 76  
 Six Sigma-Champion 322  
 Six Sigma in der Entwicklung 377  
 Six Sigma-Koordinationsstelle 350  
 Six Sigma-Manager 324  
 Six Sigma-Roadmap 3, 380  
 Six Sigma-Rollen 8, 321  
 Six Sigma-Steuerkreis 349  
 SMED 266  
 Spannweite 50  
 Spezialfähigkeiten 354  
 Spezifikationsgrenzen 295  
 Stabilität 118, 138  
 Stabilität von Prozessen 148  
 Stability 118  
 Stakeholder-Analyse 78  
 Stammpersonal 352  
 Standardabweichung 50  
 Standortbestimmung 345, 363  
 StdAbw (gesamt) 167  
 StdAbw (innerhalb) 167  
 Steuergrößen 86, 187  
 Stichprobe 31  
 Stichprobenumfang
 

- t-Test 203
- u-Test 194

 Stil 352  
 Störgrößen 86, 187  
 Strategie 348, 364  
 Streudiagramm 95

Streuungsspur 296  
 Streuungszерlegungstafel 208  
 Strichliste 108  
 Struktur 349  
 Stufe 226  
 Stützleistung 86, 184  
 Summe der quadratischen Abweichungen 208  
 Summs of Squares 208  
 Systematische Messabweichung 116, 121, 127  
 Systeme 350  
 Systeme vorbestimmter Zeiten 268

**T**

Theorie des erfinderischen Problemlösens 386  
 Time Series Plot 90  
 Toleranzanalyse 392  
 Toleranzgrenzen 295  
 Tolerierung
 

- arithmetische 392
- statistische 392

 Transformation
 

- Box-Cox-Transformation 61
- Johnson Transformation 61
- lineare 61
- logarithmische 61
- nichtlineare 61

 Trends of Evolution 390  
 trial and error 229  
 TRIZ 386
 

- Idealität 390
- vier Säulen von TRIZ 387
- Vorgehensmodell 387

**U**

Umfeldanalyse 78  
 unfreeze 356  
 Universalprüfmittel 139  
 Unsicherheit des Normals 120  
 Unternehmensleitung 329  
 Unterschied
 

- signifikant 106
- zufällig 106

 Ursachen-Wirkungs-Diagramm 87, 187

**V**

- Variablenvergleich 223
- Varianz 49
- Varianzanalyse 204
- VDA 5 139
- Verbesserungsmanagement 315
- verbundene Bedingungen 110
- Verfahren 1 123
- Verfahren 2 129
- Verfahren 3 138
- Vergleichspräzision 117, 130
- Vermengung 251
- Verschwendung 319
- Versuchsmethodik nach Shainin
  - Komponententausch 220
  - Multi-Vari-Chart 98
  - Paarweiser Vergleich 102
  - Variablenvergleich 223
- Versuchsplan
  - Auswertung 240
  - Erstellung 239
  - Erweiterbarkeit 237
  - orthogonal 237
- Versuchsplanung
  - in der Entwicklung 396
  - mit statistischen Versuchsplänen 225
- Verteilung
  - Binomialverteilung 33
  - Exponentialverteilung 47
  - F-Verteilung 54
  - Hypergeometrische Verteilung 33
  - Logarithmische Normalverteilung 47
  - Mischverteilung 47
  - Normalverteilung 38
  - Parametrische 52
  - Poisson-Verteilung 36
  - Standardisierte Normalverteilung 40
  - Student-Verteilung 53
  - t-Verteilung 53
  - u-Verteilung 40
  - von Mittelwerten 52
  - von Streuungen 52
  - Weibull-Verteilung 47
  - $\chi^2$ -Verteilung 53

- Verteilungsformen 32
  - Identifikation der 60
- Vertrauensbereich 68
  - für den Mittelwert 69
  - für Fähigkeitskenngrößen 153
  - für Streuungen 74
- Vertrauensniveau 44, 64, 69
- Vier Separationsprinzipien 389
- Voice of the Customer 79
- Vollständige faktorielle Versuchspläne 229

**W**

- Wartung 290
- Wechselwirkungen 226, 244, 258
- Wertschöpfungsanalyse 184
- White Belt 7
- Widersprüche
  - physikalische 389
  - technische 389
- Wiederholpräzision 116, 129f.
- Wiederhol- und Vergleichspräzision 130f.
- Wiederholungen 227
- Wölbung 51

**Y**

- Yellow Belt 7, 328

**Z**

- Zentraler Grenzwertsatz 55
- Zentralwert 49
- Zentral zusammengesetzte Versuchspläne 230
- Zielgrößenoptimierung 246
- zufällige Unterschiede 106
- Zufallsstrebereich 43, 63, 293
  - für den arithmetischen Mittelwert 65
  - für den Median 66
  - für die Standardabweichung 67
  - für diskrete Merkmale 64
- Zuverlässigkeitstechnik 400