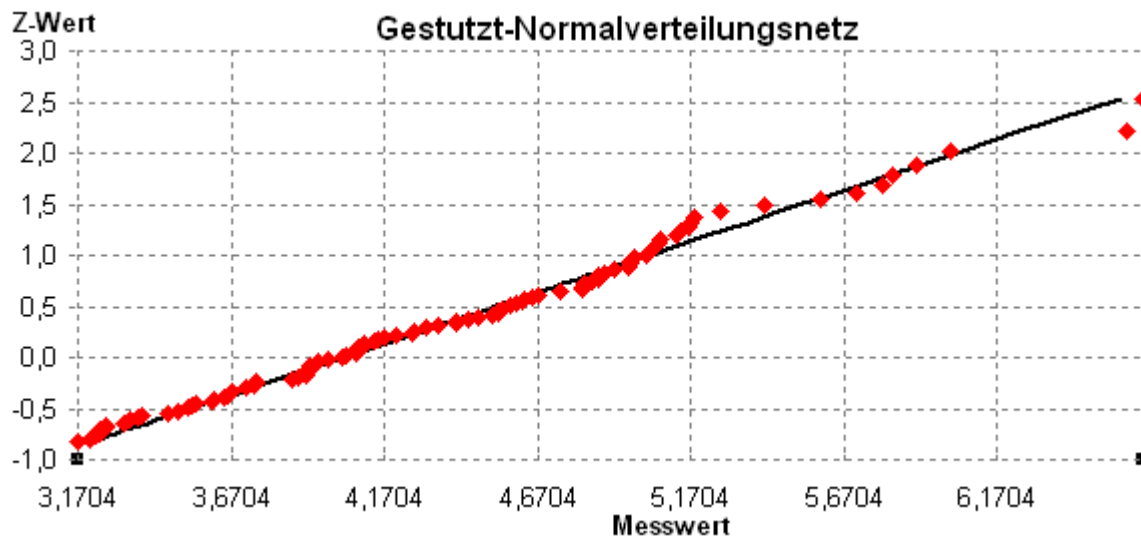
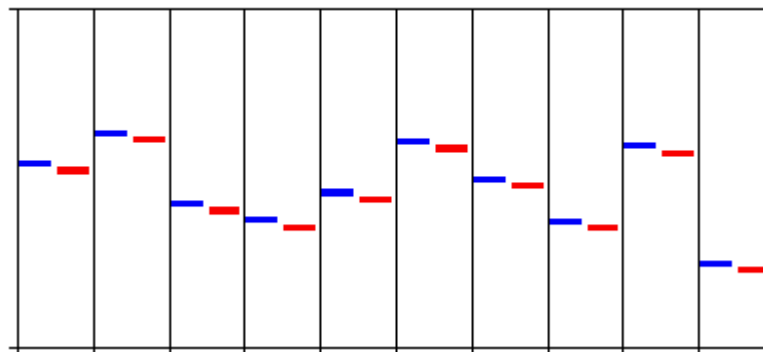


Statistische Prozessregelung (SPC)

Theorie und Praxis mit Tabellenkalkulation

V1.0

Gauge R&R: Klassisch: = 10% / ANOVA: = 11%





Allgemeine Anmerkungen

Der Erwerb dieses Lehrgangs beinhaltet das Recht auf eine telefonische Beratung zu einem (nahezu) beliebigen Problem aus dem Bereich SPC. Das Problem kann allgemeiner Natur sein, oder einen bestimmten Prozess betreffen. Ausgenommen sind Fragen, die sich auf Funktionalitäten von Auswertungssoftware beziehen (Ausnahme: Excel).

Zu diesem Lehrgang gehören über 40 Excelvorlagen, deren Gestaltung sich am didaktisch Interessierten Leser orientiert: Alles ist zugänglich und veränderbar, insbesondere sind alle Rechenschritte dargestellt.

Durch Ausgliedern und „Verstecken“ von Zwischenrechnungen und Erklärungen lassen sich aus ihnen Vorlagen herstellen, die sich für den betrieblichen SPC Alltag eignen.

Alle Beispiele und Darstellungen sind weder nach Schönheitskriterien ausgesucht, noch sind sie Idealisierungen. Dadurch wird gewährleistet, dass das, was dem Leser hier gezeigt wird, dem ähnelt, was er in der Praxis vorfinden wird.

Der Verfasser verwendet kein ß, und in Dateinamen keine Umlaute.

Urheberrecht und Haftungsausschluss

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Vervielfältigung, Reproduktion, Übersetzung, sowie Weiterverarbeitung und Verbreitung in jeglicher Form, auch auszugsweise, ist ohne ausdrückliche Genehmigung des Autors untersagt.

Der rechtmässige Eigentümer dieser Kopie darf genau ein Printexemplar unterhalten, und darf Ergebnisse, die mit Hilfe dieses Werkes gewonnen werden, unbegrenzt weiterverwenden unter Nennung der Angabe "www.reiter1.com", oder einer anderen Angabe, die eindeutig auf den Verfasser dieses Werkes schliessen lässt.

Die Benutzung dieses Werkes, sowie die zu www.reiter1.com gehörenden Internetseiten, auf die dieses Werk verweist, und die Umsetzung der darin enthaltenen Informationen, erfolgt ausdrücklich auf eigenes Risiko. Der Verfasser kann für etwaige Schäden jeder Art aus keinem Rechtsgrund eine Haftung übernehmen, Rechts- und Schadenersatzansprüche sind ausgeschlossen.

Dieses Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch können Druckfehler und Falschinformationen nicht vollständig ausgeschlossen werden. Der Verfasser übernimmt keine Haftung für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte, ebenso nicht für Druckfehler.

Für die Inhalte von in diesem Werk erwähnten Internetseiten, die nicht zu www.reiter1.com gehören, sind ausschliesslich die Betreiber der jeweiligen Internetseiten verantwortlich.



Vorwort

Grundlegendes Charakteristikum bei SPC unterworfenen Prozessen ist, dass nicht das *Prozessergebnis*, sondern der *Prozess selbst* geregelt wird. Man kontrolliert demnach nicht die produzierten Einheiten, sondern ist bemüht, den Prozess möglichst exakt unter Bedingungen und Parametereinstellungen zu betreiben, die zu einem früheren Zeitpunkt für optimal befunden worden sind.

Das Thema SPC wird in der Industrie, ganz besonders im Qualitätsmanagement, *stark überbewertet*, und dieser Lehrgang spricht die realen, teilweise pseudowissenschaftlichen Gegebenheiten und schlechte statistische Praktiken in der (vor allem deutschen) SPC Praxis offen an.

Das grundlegende Problem mit SPC ist, dass diese ursprünglich aus der Halbleiterfertigung stammende Methodik auf die meisten anderen Branchen (mit ihren jeweils spezifischen Fertigungsprozessen) *nicht* übertragbar ist.

Die Anwendung von SPC setzt nämlich voraus, dass die Einhaltung der Masstoleranzen *technologisch leicht* fällt.

Dem Prozess muss innerhalb der Toleranzgrenzen ein gewisser Bereich zum „Austoben“ zur Verfügung stehen, ohne dabei in die Nähe der Toleranzgrenzen zu kommen.

Nur dann, wenn der Fachmann sagt „Dieses Mass einzuhalten ist keine Kunst“, ist SPC überhaupt möglich.

Damit scheiden alle Fertigungsverfahren aus, deren Masstoleranzen technisch herausfordernd sind. Das dürften in der westlichen Industrie die weitaus meisten sein, wenn man alle Branchen, in denen über SPC geredet wird, einbezieht.

Wichtigste Voraussetzung ist, dass die Prozesse von vorne herein auf SPC ausgelegt werden, SPC-spezifisches Fachwissen also von Anfang an mit einfließt.

Dagegen gelingt die nachträgliche Umstellung „konventionell“ aufgebauter Fertigungsprozesse auf SPC praktisch nie.

Weitere Bedingungen für SPC sind hohe Produktionsstückzahlen bei konstanten Prozessbedingungen, also geringe bis gar keine Variantenvielfalt in den Produkten, sowie die weitgehende Abwesenheit manueller Prozessschritte.

Dieser Lehrgang vermittelt Detailwissen zu allen Aspekten der statistischen Prozessregelung. Neben Kenntnissen, die der Anwender im SPC Alltag braucht, werden auch die Hintergründe zu allem erklärt. In Kapitel 3 (S. 27) werden alle wesentlichen Aspekte angesprochen, die die erste Konfrontation mit SPC, bzw. die Einführung betreffen.

Alle Rechengänge werden ausführlich beschrieben, und sind in über 40 Excelvorlagen hinterlegt. Bei diesen stehen Didaktik und Nachvollziehbarkeit im Vordergrund. Sie können durch Umgestaltung in Vorlagen umgewandelt werden, die für betriebliche Anwendungen geeignet sind.

Die **in braun geschriebenen** Hyperlinks in diesem Lehrgang dienen der Vertiefung, und stellen die Sachverhalte meistens in einem allgemeineren Kontext dar. Für das Verständnis dieses Lehrgangs sind sie entbehrlich.

Dieser Lehrgang enthält *keine* SPC Fallbeispiele; der Leser bekommt auf über 400 Seiten jedoch alles bis ins Detail beschrieben, sodass er in der Lage sein wird, sich in jeder denkbaren Situation zurechtzufinden, sich zu helfen zu wissen, und valide Entscheidungen zu treffen.

Alle Inhalte bis einschliesslich Kapitel 13 (S. 412) sind für ein detailliertes Verständnis von SPC „Pflicht“, wobei sämtliche formellastige Passagen ggfs. übersprungen werden können.



Ab Kapitel 14 (S. 416) befindet sich ausschliesslich schwieriger (und für die reine Anwendung entbehrlicher) Stoff, der allerdings so verfasst ist, dass er bei Überspringen sämtlicher Formeln immer noch qualitativ verstanden werden kann.

Änderungsliste

Datum, Version	Änderungsgrund
22. Dez. 2019	Erstausgabe



Inhaltsverzeichnis, nur Grosskapitel

1	Einleitung	20
1.1	Motivation für SPC und Einordnung in den betrieblichen Kontext	20
2	Die wesentlichen Sachverhalte von SPC kurz und bündig	22
2.1	Anwendbarkeit von SPC	22
2.2	Messmittel und Messsystemanalyse	23
2.3	Prozessfähigkeitsanalyse	24
2.4	Bestimmung der Verteilungsfunktion und der Eingriffsgrenzen	25
2.5	Wahl des Regelkartentyps	26
3	SPC Projekt Leitfaden	27
3.1	Anmerkungen	27
3.2	Einschätzung der Kundenforderung	27
3.3	Einschätzung der am Markt verfügbaren Technik	29
3.4	Qualifizierung	34
4	Statistische Grundkonzepte	35
4.1	Verteilungsfunktionen	35
4.2	Varianz und Standardabweichung	36
4.3	Freiheitsgrade	37
4.4	Signifikanz	37
5	Kurzeinführung in SPC für Leitungsfunktionen und Entscheider	41
5.1	Grundlegendes	41
5.2	Kriterien für „richtige“ SPC	42
5.3	Technologische Voraussetzungen	42
5.4	Messtechnische Voraussetzungen	43
5.5	Abschliessende Bemerkungen	43
6	Kurzeinführung in SPC für Produktionsingenieure	44
6.1	Vorüberlegungen	44
6.2	Messsystemanalyse (MSA)	45
6.3	Prozessfähigkeitsanalyse	48
6.4	Bestimmung der Eingriffsgrenzen	57
6.5	Stabilitätskriterien	75
7	Allgemeine statistische Grundlagen	84
7.1	Abgrenzung	84
7.2	Varianz, Standardabweichung und Freiheitsgrade	84
7.3	Zentraler Grenzwertsatz, Normalverteilung	93
7.4	t-Verteilung	97
7.5	Statistischer Hypothesentest: t-Test für 1 Stichprobe	105
7.6	Statistischer Hypothesentest: t-Test für 2 Stichproben	113
7.7	Statistischer Hypothesentest: F-Test auf Varianzunterschiede	127
8	Messsystemanalyse	132
8.1	Allgemeines zu Messmitteln	132
8.2	Verfahren 1: Genauigkeit und Wiederholpräzision	139
8.3	Verfahren 3: Wiederhol- und Vergleichspräzision (R&R)	144
8.4	Verfahren 2: Wiederhol- und Vergleichspräzision (Gauge R&R)	154
9	Prozessfähigkeitsanalyse	177
9.1	Bestimmung des Verteilungsfunktionstyps	177
9.2	Sinnvolle Verteilungsfunktionstypen in SPC	180
9.3	Nicht sinnvolle Verteilungsfunktionstypen und Vehikel in SPC	221
9.4	Visualisierung von Messdaten: Qualitative Beurteilung	238
9.5	Testen von Messdaten: Quantitative Beurteilung	279
9.6	Testen von Messdaten: Ausreisser	330
9.7	Testen von Messdaten: Mittelwert	334



9.8	Testen von Messdaten: Standardabweichung.....	340
9.9	Berechnung des C_{pk} Wertes.....	346
9.10	Abschliessende Bemerkungen.....	356
10	Berechnung der Eingriffsgrenzen	357
10.1	Grundsätzliches	357
10.2	Normalverteilung.....	361
10.3	Gestutzte Normalverteilung.....	369
10.4	Rayleighverteilung	385
11	Regelkarten.....	395
11.1	Einführung	395
11.2	Regelkartenbezeichnungen und -typen.....	397
12	Stabilitätstests	403
12.1	Einführung	403
12.2	Oszillationen	408
12.3	Trends	409
12.4	Middle Third.....	411
13	Anhang: Wie erkennt man gefälschte Messreihen?.....	412
14	Anhang: Messmittel mit sehr geringer Auflösung.....	416
14.1	Fallbeispiel_1: Messmittel mit Auflösung 5 bei $C_{pk} = 1,33$	416
14.2	Szenario 1: Messmittel mit Auflösung 5. Rechnen mit Klassenhäufigkeiten	418
14.3	Szenario 2: Hochauflösendes Messmittel	426
14.4	Szenario 3: Messmittel mit Auflösung 5. Rechnen mit Kardinalskala	427
14.5	Zusammenfassung	430
15	Anhang: ANOVA	433
15.1	Vorbemerkungen	433
15.2	Klassische ANOVA	433
15.3	ANOVA in der MSA	435
15.4	Feste Effekte vs. zufällige Effekte	435
15.5	Gemischte Effekte beim ANOVA Verfahren 2 der MSA	437
15.6	Zufällige Effekte bei ANOVA: Vertiefung	438
15.7	Explizite Berechnung der gemischten Effekte bei MSA, ANOVA Verfahren 2	447
16	Anhang: Statistischer Hypothesentest beim t-Test	458



Inhaltsverzeichnis, alle Unterkapitel

1	Einleitung	20
1.1	Motivation für SPC und Einordnung in den betrieblichen Kontext	20
1.1.1	“Show Program for Customer” (SPC).....	20
2	Die wesentlichen Sachverhalte von SPC kurz und bündig	22
2.1	Anwendbarkeit von SPC	22
2.2	Messmittel und Messsystemanalyse.....	23
2.3	Prozessfähigkeitsanalyse	24
2.4	Bestimmung der Verteilungsfunktion und der Eingriffsgrenzen	25
2.5	Wahl des Regelkartentyps	26
3	SPC Projekt Leitfaden.....	27
3.1	Anmerkungen	27
3.2	Einschätzung der Kundenforderung.....	27
3.2.1	Der Kunde	27
3.2.2	Das Unternehmen.....	28
3.3	Einschätzung der am Markt verfügbaren Technik	29
3.3.1	Grundsätzliches	29
3.3.2	Forderung ist <i>nicht</i> umsetzbar	30
3.3.3	Forderung <i>ist</i> umsetzbar	31
3.4	Qualifizierung.....	34
4	Statistische Grundkonzepte	35
4.1	Verteilungsfunktionen	35
4.2	Varianz und Standardabweichung	36
4.3	Freiheitsgrade.....	37
4.4	Signifikanz	37
4.4.1	Grundsätzliches	37
4.4.2	Einseitige statistische Hypothese: Nur H_0 (eine Welt)	38
4.4.3	Zweiseitige statistische Hypothese: H_0 und H_1 (2 Welten)	38
4.4.4	Zusammenfassung	40
5	Kurzeinführung in SPC für Leitungsfunktionen und Entscheider	41
5.1	Grundlegendes	41
5.2	Kriterien für „richtige“ SPC	42
5.3	Technologische Voraussetzungen	42
5.4	Messtechnische Voraussetzungen.....	43
5.5	Abschliessende Bemerkungen.....	43
6	Kurzeinführung in SPC für Produktionsingenieure	44
6.1	Vorüberlegungen	44
6.2	Messsystemanalyse (MSA).....	45
6.2.1	Auflösung des Messmittels	45
6.2.2	MSA Verfahren	46
6.3	Prozessfähigkeitsanalyse	48
6.3.1	C_{pk} Wert.....	48
6.3.2	Beispiele für C_{pk} Werte: Ausschussanteile	49
6.3.3	Beispiele für C_{pk} Werte: Visualisierung von Messreihen.....	50
6.3.4	Genauigkeit von C_{pk} Werten	55
6.4	Bestimmung der Eingriffsgrenzen	57
6.4.1	Grundsätzliche Anmerkungen zum Eingreifen	57
6.4.2	Beispiel.....	58
6.4.3	Eingriffswahrscheinlichkeit.....	59
6.4.4	Einfache didaktische Regelkarte, $n = 1$	59
6.4.4.1	Bewertung.....	61
6.4.5	X_{quer}/s Karte (Shewhart Karte), $n = 5$	63
6.4.5.1	Voraussetzungen	63
6.4.5.2	Beispiel	64



6.4.5.3	Bestimmung der Eingriffsgrenzen für den Mittelwert	65
6.4.5.4	Bestimmung der Eingriffsgrenzen für die Standardabweichung	66
6.4.5.5	Bewertung.....	68
6.4.6	X_{quer} / s Karte (Shewhart Karte), $n = 25$	71
6.4.6.1	Bewertung.....	71
6.4.7	Zusammenfassung	74
6.5	Stabilitätskriterien	75
6.5.1	Stabilitätstests allgemein: Das Aussehen der Messreihe	76
6.5.2	Stabilitätstests für den Verteilungsfunktionstyp: Momente	77
6.5.3	Stabilitätstests für die Verteilungsfunktion: Quantile.....	79
6.5.4	Stabilitätstests für das zeitliche Verhalten.....	80
6.5.4.1	Runs	80
6.5.4.1.1	Iterationshäufigkeitstest.....	81
6.5.4.1.2	Iterationslängentest	81
6.5.4.2	Oszillationen	83
7	Allgemeine statistische Grundlagen	84
7.1	Abgrenzung	84
7.2	Varianz, Standardabweichung und Freiheitsgrade.....	84
7.2.1	Freiheitsgrade.....	86
7.2.1.1	Beispiel: Mittelwert	86
7.2.1.2	Beispiel: Varianz	86
7.2.2	Veranschaulichung der Varianz, Dichtefunktion vs. Verteilungsfunktion	90
7.3	Zentraler Grenzwertsatz, Normalverteilung.....	93
7.3.1	Veranschaulichung	94
7.3.2	Zum Begriff Approximativ / Überleitung zur t-Verteilung.....	96
7.4	t-Verteilung	97
7.4.1	Vertrauensintervalle von Mittelwerten, Signifikanz	101
7.4.1.1	Abgrenzung Zufallsstrebereich - Vertrauensintervall	101
7.4.1.2	Alpharisiko und Signifikanz	102
7.5	Statistischer Hypothesentest: t-Test für 1 Stichprobe.....	105
7.5.1.1	Szenario 1.....	105
7.5.1.2	Szenario 2.....	107
7.5.1.3	Szenario 3.....	109
7.5.1.4	Szenario 4.....	109
7.5.1.5	Szenario 5.....	111
7.6	Statistischer Hypothesentest: t-Test für 2 Stichproben.....	113
7.6.1	Gleiche Varianzen	114
7.6.1.1	Szenario 1.....	116
7.6.1.2	Szenario 2.....	118
7.6.1.3	Szenario 3.....	119
7.6.2	Ungleiche Varianzen.....	121
7.6.2.1	Szenario 1.....	122
7.6.2.2	Szenario 2.....	123
7.6.2.3	Szenario 3.....	124
7.7	Statistischer Hypothesentest: F-Test auf Varianzunterschiede	127
7.7.1.1	Szenario 1.....	128
7.7.1.2	Szenario 2.....	130
8	Messsystemanalyse.....	132
8.1	Allgemeines zu Messmitteln.....	132
8.1.1	Kalibrierung, Abgrenzung zur MSA.....	132
8.1.2	Auflösung	133
8.1.3	Weitere Anmerkungen	133
8.1.3.1	Faktoren K1, K2, usw.....	134
8.1.4	Verfahren 1, 2 und 3.....	135
8.1.5	Wichtige MSA Fachbegriffe	136



8.1.5.1	Gauge R&R	136
8.1.5.2	Wiederholbarkeit, Wiederholpräzision, Repeatability, Equipment Variation (EV) 137	
8.1.5.3	Reproduzierbarkeit, Vergleichspräzision, Reproducibility, Appraiser Variation (AV) 137	
8.1.5.4	Teilestreuung, Part Variation (PV).....	137
8.1.5.5	Linearität.....	137
8.1.5.6	Ndc (number of distinct categories).....	137
8.1.5.7	C _p Wert, P _p Wert, und andere aus 1 Buchstaben bestehende Indizes	138
8.1.5.8	C _{pk} Wert, P _{pk} Wert, und andere aus 2 Buchstaben bestehende Indizes.....	138
8.2	Verfahren 1: Genauigkeit und Wiederholpräzision	139
8.2.1	Verfahren 1: Beispiele zur Visualisierung.....	141
8.3	Verfahren 3: Wiederhol- und Vergleichspräzision (R&R).....	144
8.3.1	Verfahren 3: Klassisch.....	145
8.3.2	Verfahren 3: ANOVA	146
8.3.3	Verfahren 3: Beispiele zur Visualisierung, klassisch vs. ANOVA.....	149
8.4	Verfahren 2: Wiederhol- und Vergleichspräzision (Gauge R&R).....	154
8.4.1	Verfahren 2: Klassisch.....	155
8.4.2	Verfahren 2: ANOVA	156
	Fall1: Wechselwirkung Prüfer - Teile als vorhanden angenommen.....	159
8.4.2.1	Fall2: Wechselwirkung Prüfer – Teile als <u>nicht</u> vorhanden angenommen	160
8.4.3	Verfahren 2: Beispiele zur Visualisierung, klassisch vs. ANOVA.....	161
8.4.3.1	Didaktische Datensätze	161
8.4.3.2	Reale Datensätze, Beispielserie 1.....	170
8.4.3.3	Reale Datensätze, Beispielserie 2.....	172
9	Prozessfähigkeitsanalyse.....	177
9.1	Bestimmung des Verteilungsfunktionsstyps.....	177
9.2	Sinnvolle Verteilungsfunktionsstypen in SPC.....	180
9.2.1	Normalverteilung	182
9.2.1.1	Was beschreibt die Normalverteilung.....	182
9.2.1.2	Zufall.....	182
9.2.1.3	Reife Prozesse.....	183
9.2.1.4	Das Prinzip Maximaler Entropie	183
9.2.1.5	Einschränkungen	184
9.2.1.6	Erzeugung von normalverteilten Zufallszahlen.....	185
9.2.1.7	Darstellung von normalverteilten Werten als Gerade: Normalverteilungsnetz .	186
9.2.1.8	Quantile der Normalverteilung.....	190
9.2.2	Betragsverteilung 1. Art: Gestutzte Normalverteilung.....	192
9.2.2.1	Stutzen vs. Falten	192
9.2.2.2	Erzeugung von gestutzt normalverteilten Zufallszahlen.....	197
9.2.2.3	Darstellung der gestutzten Normalverteilung als Gerade: Wahrscheinlichkeitsnetz 199	
9.2.2.4	Berechnung von "gestutzten" μ und σ aus den Messdaten	201
9.2.2.4.1	Vertiefung.....	204
9.2.2.5	Quantile der gestutzten Normalverteilung	206
9.2.3	Betragsverteilung 2. Art: Rayleighverteilung	209
9.2.3.1	Grundlagen.....	209
9.2.3.2	Erzeugung von rayleighverteilten Zufallszahlen	213
9.2.3.3	Darstellung der Rayleighverteilung als Gerade: Weibullnetz	215
9.2.3.4	Quantile der Rayleighverteilung	217
9.2.4	Spezielle Verteilungsmodelle.....	217
9.2.5	Zusammenfassung	219
9.2.6	Vertiefung: Die „Zuständigkeiten“ von Verteilungsfunktionen innerhalb und ausserhalb SPC 219	
9.3	Nicht sinnvolle Verteilungsfunktionsstypen und Vehikel in SPC.....	221



9.3.1	Lognormalverteilung	222
9.3.2	Weibullverteilung	222
9.3.3	Transformationen.....	223
9.3.4	Mischverteilungen.....	224
9.3.4.1	Einführung	224
9.3.4.2	Mischverteilung: Momentenmethode.....	227
9.3.4.3	Mischverteilung: Überlagerung und Kerndichteschätzung	229
9.3.4.4	Mischverteilungen: Weitere Informationen	230
9.3.5	So genannte „Prozessmodelle“ und „Verteilungszeitmodelle“	230
9.3.5.1	Verteilungszeitmodell A1.....	231
9.3.5.2	Verteilungszeitmodell A2.....	232
9.3.5.3	Verteilungszeitmodell B.....	233
9.3.5.4	Verteilungszeitmodell C1	233
9.3.5.5	Verteilungszeitmodell C2	234
9.3.5.6	Verteilungszeitmodell C3	234
9.3.5.7	Verteilungszeitmodell C4	235
9.3.5.8	Verteilungszeitmodell D	236
9.3.5.9	Zusammenfassung	237
9.4	Visualisierung von Messdaten: Qualitative Beurteilung	238
9.4.1	Grundsätzliches	238
9.4.2	Allgemeine Anmerkungen zur Handhabung der Visualisierungen.....	238
9.4.3	"Spielen" mit Zufallszahlen	239
9.4.3.1	Normalverteilung.....	240
9.4.3.2	Gestutzte Normalverteilung.....	241
9.4.3.2.1	Besonderheiten im Umgang mit gestutzt normalverteilten Daten.....	241
9.4.3.2.2	Benutzervorgaben	242
9.4.3.3	Rayleighverteilung	244
9.4.4	Visuelle Auswertung von echten Messreihen.....	245
9.4.4.1	Normalverteilung.....	245
9.4.4.2	Gestutzte Normalverteilung.....	246
9.4.4.3	Rayleighverteilung	247
9.4.5	Zeitlicher Werteverlauf.....	249
9.4.6	Histogramm	251
9.4.6.1	Grundsätzliches zu den Histogrammdarstellungen	251
9.4.6.2	Histogrammdarstellung: Normalverteilung.....	252
9.4.6.3	Histogrammdarstellungen: Andere Verteilungstypen.....	256
9.4.7	Gestapelte Messwerte	257
9.4.8	Wahrscheinlichkeitsnetz	260
9.4.8.1	Vorbemerkung	260
9.4.8.2	Einführendes Beispiel	260
9.4.8.3	Beispiele für systematische Abweichungen vom vermuteten Verteilungstyp	264
9.4.8.3.1	Normalverteilte Daten in einem Normalverteilungsnetz.....	265
9.4.8.3.2	Normalverteilte Daten in einem Gestutzt-Normalverteilungsnetz	266
9.4.8.3.3	Normalverteilte Daten in einem Rayleighverteilungsnetz	267
9.4.8.3.4	Gestutzt-Normalverteilte Daten in einem Normalverteilungsnetz	268
9.4.8.3.5	Gestutzt-Normalverteilte Daten in einem Gestutzt-Normalverteilungsnetz ...	269
9.4.8.3.6	Gestutzt-Normalverteilte Daten in einem Rayleighverteilungsnetz.....	270
9.4.8.3.7	Rayleighverteilte Daten in einem Normalverteilungsnetz	271
9.4.8.3.8	Rayleighverteilte Daten in einem Gestutzt-Normalverteilungsnetz.....	272
9.4.8.3.9	Rayleighverteilte Daten in einem Rayleighverteilungsnetz.....	273
9.4.8.4	Weitere Beispiele für systematische Abweichungen	274
9.4.8.4.1	Zwei Maxima statt nur einem	274
9.4.8.4.2	Dichtefunktion zu breit	276
9.4.8.4.3	Dichtefunktion zu schmal.....	276
9.5	Testen von Messdaten: <u>Quantitative</u> Beurteilung	279



9.5.1	Grundsätzliches	279
9.5.2	Korrelationen zwischen Merkmalen	279
9.5.3	Anpassungstests	283
9.5.3.1	Allgemeine Anmerkungen und Einordnung	283
9.5.3.2	Übersicht der in diesem Lehrgang beschriebenen Anpassungstests.....	286
9.5.4	Chi Quadrat Test (Verteilungs <u>unabhängig</u>).....	287
9.5.4.1	Grundsätzliche Funktionsweise des Chi Quadrat Tests	287
9.5.4.2	Voraussetzungen	288
9.5.4.3	Allgemeine Anmerkungen zur Handhabung des Chi Quadrat Tests in den Excelvorlagen.....	289
9.5.4.4	"Spielen" mit Zufallszahlen.....	290
9.5.4.4.1	Normalverteilung	290
9.5.4.4.2	Gestutzte Normalverteilung	292
9.5.4.4.2.1	Besonderheiten im Umgang mit gestutzt normalverteilten Werten.....	292
9.5.4.4.2.2	Benutzervorgaben.....	293
9.5.4.4.3	Rayleighverteilung	295
9.5.4.5	Auswertung echter Messreihen.....	296
9.5.4.5.1	Normalverteilung	296
9.5.4.5.2	Gestutzte Normalverteilung	298
9.5.4.5.3	Rayleighverteilung	299
9.5.4.6	Verteilungsunabhängig: Allgemeine Vorlage.....	300
9.5.4.7	Beispiel	301
9.5.5	Kolmogoroff-Smirnoff Test.....	305
9.5.5.1	Abgrenzung der Testvarianten	305
9.5.5.2	Kolmogoroff-Smirnoff Omnibustest	306
9.5.5.3	Kolmogoroff-Smirnoff Anpassungstest.....	306
9.5.5.4	Kolmogoroff-Smirnoff Lillieforstest.....	306
9.5.5.5	Funktionsweise des Kolmogoroff-Smirnoff Tests.....	307
9.5.5.6	Allgemeine Anmerkungen zur Handhabung des Kolmogoroff-Smirnoff Tests in den Excelvorlagen.....	309
9.5.5.7	Spezielle Anmerkungen zum "Spielen" mit Zufallszahlen.....	309
9.5.5.8	KS Anpassungstest: Normalverteilung.....	310
9.5.5.9	KS Anpassungstest: Gestutzte Normalverteilung.....	312
9.5.5.9.1	Besonderheiten im Umgang mit gestutzt normalverteilten Werten.....	312
9.5.5.9.2	Benutzervorgaben	313
9.5.5.10	KS Anpassungstest: Rayleighverteilung.....	316
9.5.5.11	KS Lillieforstest (Normalverteilung).....	318
9.5.6	Spezielle statistische Tests für bestimmte Verteilungsfunktionen.....	320
9.5.6.1	Gestutzte Normalverteilung.....	320
9.5.6.2	Normalverteilung.....	321
9.5.6.2.1	Anderson-Darling Test (Normalverteilung).....	321
9.5.6.2.2	Shapiro-Wilk Test	323
9.5.6.2.3	Epps-Pulley Test	324
9.5.6.2.4	Jarque-Bera Test (Wölbung und Schiefe).....	326
9.5.6.3	Rayleighverteilung	327
9.5.6.3.1	Anderson-Darling Test (Rayleighverteilung).....	327
9.6	Testen von Messdaten: Ausreisser.....	330
9.6.1	Übersicht der in diesem Lehrgang beschriebenen Tests auf Ausreisser.....	330
9.6.2	Grubbs Test (für normalverteilte Messreihen, n beliebig).....	331
9.6.3	David-Hartley-Pearson Test (normalverteilte Stichproben, n > 20 ... 1000).....	332
9.6.4	Dean-Dixon Test (normalverteilte Stichproben, n bis 100).....	333
9.7	Testen von Messdaten: Mittelwert.....	334
9.7.1	Trend.....	334
9.7.2	Sprunghafte Änderungen.....	335
9.7.2.1	Test auf Unterschied zwischen 2 Mittelwerten: t-Test.....	335



9.7.2.1.1	Anwendungshinweise	336
9.7.2.2	Test auf Unterschied mehrerer Mittelwerte: Varianzanalyse.....	337
9.7.2.2.1	Anwendungshinweise	338
9.7.2.3	Weitere Tests auf Verhalten des Mittelwerts	339
9.8	Testen von Messdaten: Standardabweichung.....	340
9.8.1	Tests auf veränderliche Standardabweichung	340
9.8.1.1	F-Test (normalverteilte Daten)	341
9.8.1.2	Bartlett Test (Normalverteilte Daten).....	342
9.8.1.3	Levene Test / Brown Forsythe Test.....	343
9.8.2	Kontinuierlich sich vergrößernde Standardabweichung: Verschleiss	345
9.9	Berechnung des C_{pk} Wertes.....	346
9.9.1	Vorbemerkungen	346
9.9.2	Normalverteilte Merkmale	347
9.9.3	Nicht normalverteilte Merkmale: Perzentilmethode	351
9.9.4	Nicht normalverteilte Merkmale: Analytisch.....	352
9.9.4.1	Speziell: Gestutzt Normalverteilte Merkmale	352
9.9.4.2	Speziell: Rayleighverteilte Merkmale.....	354
9.10	Abschliessende Bemerkungen.....	356
10	Berechnung der Eingriffsgrenzen	357
10.1	Grundsätzliches	357
10.1.1	Sonderfall: Stichprobengrösse = 1	360
10.2	Normalverteilung.....	361
10.2.1	Mittelwert (analytisch berechenbar)	361
10.2.2	Standardabweichung (analytisch berechenbar)	365
10.3	Gestutzte Normalverteilung.....	369
10.3.1	Vorbemerkungen	370
10.3.2	Mittelwert: $n=1$ (analytisch berechenbar)	371
10.3.3	Stichprobengrösse > 1 : Vorbemerkungen	372
10.3.4	Mittelwert: $n>1$ (nicht analytisch berechenbar)	373
10.3.5	Standardabweichung (nicht analytisch berechenbar).....	374
10.3.6	Tabellen für den Korrekturfaktor $G_{(\dots)}$ bei Gestutzter NV	376
10.3.6.1	Mittelwert	376
10.3.6.2	Standardabweichung	380
10.3.6.3	Beispiele	384
10.4	Rayleighverteilung	385
10.4.1	Vorbemerkungen	386
10.4.1.1	Zusammenhang zwischen Mittelwert und Standardabweichung	386
10.4.1.2	Grundsätzliche Strategie.....	387
10.4.2	Mittelwert: $n=1$ (analytisch berechenbar)	387
10.4.3	Stichprobengrösse > 1 : Vorbemerkungen.....	388
10.4.4	Mittelwert: $n>1$ (analytisch nicht berechenbar)	389
10.4.5	Standardabweichung: (analytisch nicht berechenbar).....	389
10.4.6	Tabellen für den Korrekturfaktor $R_{(\dots)}$ bei Rayleighverteilung	390
10.4.6.1	Mittelwert	392
10.4.6.2	Standardabweichung	393
10.4.6.3	Beispiele	394
11	Regelkarten.....	395
11.1	Einführung	395
11.2	Regelkartenbezeichnungen und -typen.....	397
11.2.1	X^{quer} / s Karte (mit Excelvorlage).....	397
11.2.2	X^{quer} / R Karte.....	399
11.2.3	Shewhart Karte	399
11.2.4	Pearson Karte.....	399
11.2.5	Annahmekarte	399
11.2.6	CUSUM Karte	400



11.2.7	EWMA Karte	401
11.2.8	Pre Control Karte	401
11.2.9	Urwert Karte	402
12	Stabilitätstests	403
12.1	Einführung	403
12.1.1	Runs	403
12.1.2	Iterationshäufigkeitstest (Wald Wolfowitz, Swed Eisenhart)	405
12.1.3	Iterationslängentest	406
12.2	Oszillationen	408
12.3	Trends	409
12.3.1	Neumann Trendtest	409
12.4	Middle Third	411
13	Anhang: Wie erkennt man gefälschte Messreihen?	412
14	Anhang: Messmittel mit sehr geringer Auflösung	416
14.1	Fallbeispiel_1: Messmittel mit Auflösung 5 bei $C_{pk} = 1,33$	416
14.2	Szenario 1: Messmittel mit Auflösung 5. Rechnen mit Klassenhäufigkeiten	418
14.2.1	Fall 1: Prozessmittelwert liegt genau zwischen 2 Skalenwerten	418
14.2.2	Fall 2: Prozessmittelwert liegt genau auf einem Skalenwert	422
14.2.3	Zusammenfassung	425
14.3	Szenario 2: Hochauflösendes Messmittel	426
14.4	Szenario 3: Messmittel mit Auflösung 5. Rechnen mit Kardinalskala	427
14.4.1	Fall 1: Prozessmittelwert liegt genau zwischen 2 Skalenwerten	427
14.4.2	Fall 2: Prozessmittelwert liegt genau auf einem Skalenwert	429
14.5	Zusammenfassung	430
14.5.1	Verallgemeinerung	431
14.5.2	Abschliessende Bemerkungen	432
15	Anhang: ANOVA	433
15.1	Vorbemerkungen	433
15.2	Klassische ANOVA	433
15.3	ANOVA in der MSA	435
15.4	Feste Effekte vs. zufällige Effekte	435
15.5	Gemischte Effekte beim ANOVA Verfahren 2 der MSA	437
15.6	Zufällige Effekte bei ANOVA: Vertiefung	438
15.6.1	Definitionen	438
15.6.2	Mittlung über verschiedene Indizes	439
15.6.3	Darstellung von Quadratesummen mit Messwerten	440
15.6.4	Darstellung von Quadratesummen mittels Effekten	441
15.6.4.1	Innere Streuung	441
15.6.4.2	Haupteffekt A	441
15.6.4.3	Wechselwirkung A x B	442
15.6.5	Vorgehensweise bei zufälligen Effekten	443
15.6.6	Feste vs. Zufällige Effekte	444
15.6.7	Gemischte Effekte bei MSA, ANOVA Verfahren 2	445
15.6.8	Besonderheiten bei MSA, ANOVA Verfahren 2	446
15.7	Explizite Berechnung der gemischten Effekte bei MSA, ANOVA Verfahren 2	447
15.7.1	Fall 1: Wechselwirkung Prüfer – Teile <u>ist</u> signifikant	447
15.7.2	Fall 2: Wechselwirkung Prüfer – Teile <u>nicht</u> signifikant	454
16	Anhang: Statistischer Hypothesentest beim t-Test	458
16.1.1	Alpharisiko und Betarisiko	458
16.1.2	Fallzahlbestimmung beim t-Test: Herleitung	461



Abbildungsverzeichnis

Hinweis:

Manche Elemente können sowohl als Tabelle, als auch als Bild aufgefasst werden.
Im Zweifelsfall wurde als Tabelle eingeordnet.

Bild 1: $C_{pk} = 1,33$. 16.000 Werte. Alle innerhalb Toleranz. Einer liegt auf einer Toleranzgrenze....	22
Bild 2: $C_{pk} = 1,66$. 16.000 Werte. Alle innerhalb Toleranz. Keiner in der Nähe einer Toleranzgrenze	22
Bild 3: Prozess mit $C_{pk} = 1,33$	31
Bild 4: Prozess mit $C_{pk} = 0,40$	32
Bild 5: $C_{pk} = 1,00$; Prozess in Toleranzmitte	51
Bild 6: $C_{pk} = 1,33$; Prozess in Toleranzmitte	51
Bild 7: $C_{pk} = 1,66$; Prozess in Toleranzmitte	51
Bild 8: $C_{pk} = 2,00$; Prozess in Toleranzmitte	51
Bild 9: $C_{pk} = 2,33$; Prozess in Toleranzmitte	52
Bild 10: $C_{pk} = 2,66$; Prozess in Toleranzmitte	52
Bild 11: $C_{pk} = 1,33$; mit Ausreisser.....	52
Bild 12: $C_{pk} = 1,33$; mit starkem Ausreisser	52
Bild 13: $C_{pk} = 1,33$; Prozess ausserhalb Toleranzmitte.....	53
Bild 14: $C_{pk} = 1,33$; Prozess stark ausserhalb Toleranzmitte	53
Bild 15: $C_{pk} = 1,33$; Prozess gut, aber stark ausserhalb Toleranzmitte	53
Bild 16: $C_{pk} = 1,33$; Prozess sehr gut, aber extrem ausserhalb Toleranzmitte	53
Bild 17: $C_{pk} = 1,00$; Guter Prozess mit Trend	54
Bild 18: $C_{pk} = 0,00$; Prozess genau auf Toleranzgrenze	54
Bild 19: $C_{pk} = 0,75$; Prozess in Toleranzmitte. Noch alle Werte innerhalb Toleranz.....	54
Bild 20: $C_{pk} = 0,75$; entweder 2 sehr gute Prozesse, oder 1 guter, oszillierender Prozess.....	54
Bild 21: $C_{pk} = 1,33$. 16.000 Werte. Einer liegt auf einer Toleranzgrenze	55
Bild 22: $C_{pk} = 1,66$. 16.000 Werte. Keiner in der Nähe der Toleranzgrenzen	55
Bild 23: Beispielprozess 1	58
Bild 24: Didaktische Regelkarte	60
Bild 25: Beispielprozess 1	64
Bild 26: X_{quer} / s Regelkarte.....	67
Bild 27: Iterationshäufigkeitstest, Daten identisch mit Bild 162	80
Bild 28: Dichtefunktion der Normalverteilung.....	90
Bild 29: Verteilungsfunktion der Normalverteilung	91
Bild 30: Detail von Bild 2	92
Bild 31: Binomialverteilung für verschiedene Anzahlen Münzwürfe	94
Bild 32: Zufallszahlen mit Gewichtungprofil	95
Bild 33: Zentraler Grenzwertsatz, Veranschaulichung	95
Bild 34: t-Verteilung mit 1 Freiheitsgrad	98
Bild 35: t-Verteilung mit 5 Freiheitsgraden.....	99
Bild 36: t-Verteilung mit 10 Freiheitsgraden.....	99
Bild 37: t-Verteilung mit 25 Freiheitsgraden.....	100
Bild 38: Alphasisiko, Schwellwert und Prüfgrösse allgemein.....	103
Bild 39: t-Verteilung, Alphasisiko zweiseitig, Schwellwert und Prüfgrösse, Signifikant	106
Bild 40: t-Verteilung, Alphasisiko zweiseitig, Schwellwert und Prüfgrösse, Nicht Signifikant	108
Bild 41: t-Verteilung, Alphasisiko einseitig, Schwellwert und Prüfgrösse, Signifikant.....	110
Bild 42: t-Verteilung, Alphasisiko einseitig, Schwellwert und Prüfgrösse, Nicht Signifikant.....	112
Bild 43: t-Verteilung, Alphasisiko zweiseitig, Schwellwert und Prüfgrösse, Nicht Signifikant	117
Bild 44: t-Verteilung, Alphasisiko einseitig, Schwellwert und Prüfgrösse, Signifikant.....	119
Bild 45: t-Verteilung, Alphasisiko einseitig, Schwellwert und Prüfgrösse, Nicht Signifikant.....	120
Bild 46: t-Verteilung, Alphasisiko zweiseitig, Schwellwert und Prüfgrösse, Nicht Signifikant	122



Bild 47: t-Verteilung, Alpha-Risiko einseitig, Schwellwert und Prüfgrösse, Signifikant.....	124
Bild 48: t-Verteilung, Alpha-Risiko einseitig, Schwellwert und Prüfgrösse, Nicht Signifikant.....	125
Bild 49: F-Verteilung, Alpha-Risiko, Schwellwert und Prüfgrösse, Nicht Signifikant	129
Bild 50: F-Verteilung, Alpha-Risiko, Schwellwert und Prüfgrösse, Signifikant	131
Bild 51: $C_{gk} = 1,33$. Messmittel mit Auflösung 20. Mittelwert genau zwischen 2 Skalenwerten. ...	140
Bild 52: $C_{gk}=1,33$. Mittelwert genau auf Sollwert.....	141
Bild 53: $C_{gk}=0,67$. Mittelwert 1/20 der Toleranzbreite neben dem Sollwert	141
Bild 54: Wie Bild, jedoch halbe Streubreite.....	141
Bild 55: $C_{gk}= 0$ trotz Streuung nahezu 0. Mittelwert 1/10 der Toleranzbreite neben dem Sollwert	141
Bild 56: $C_{gk}=1,33$. Mittelwert genau auf Sollwert. Streuung nahezu 0, aber 1 Ausreisser	142
Bild 57: $C_{gk} = 0,32$. Grobes Messmittel mit Auflösung 5. Mittelwert genau zwischen 2 Skalenwerten.	142
Bild 58: $C_{gk} \rightarrow \infty$. Messmittel mit sehr kleiner Auflösung. Mittelwert nahe einem Skalenwert	142
Bild 59: $C_{gk} = 1,00$	142
Bild 60: $C_{gk} = 1,33$. Messmittel mit Auflösung 20. Mittelwert genau zwischen 2 Skalenwerten. ...	143
Bild 61: Gauge R&R Verf. 3: Klassisch: 0% / ANOVA: 0% Idealfall.....	149
Bild 62: Gauge R&R Verf. 3: Klassisch: 7% / ANOVA: 6,5% Sehr gut.....	150
Bild 63: Gauge R&R Verf. 3: Klassisch: 7% / ANOVA: 12% Gut	150
Bild 64: Gauge R&R Verf. 3: Klassisch: 7% / ANOVA: 22% 1 „kleiner“ Ausreisser.....	151
Bild 65: Gauge R&R Verf. 3: Klassisch: 14% / ANOVA: 13% Gut	151
Bild 66: Gauge R&R Verf. 3: Klassisch: 14% / ANOVA: 23% Mehrere „kleine“ Ausreisser.....	152
Bild 67: Gauge R&R Verf. 3: Klassisch: 14% / ANOVA: 38% 2 Ausreisser.....	152
Bild 68: Gauge R&R Verf. 3: Klassisch: 20% / ANOVA: 19% Noch gut.....	153
Bild 69: Gauge R&R Verf. 3: Klassisch: 30% / ANOVA: 28% Grenzwertig	153
Bild 70: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 0% / ANOVA: 0% Idealfall, keine WW	161
Bild 71: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 0% / ANOVA: 140% Viele Ausreisser, extreme WW	162
Bild 72: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 7% / ANOVA: 63% 2 Ausreisser, extreme WW	163
Bild 73: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 10% / ANOVA: 9% Gut, keine WW	164
Bild 74: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 30% / ANOVA: 23% Noch gut, keine WW	164
Bild 75: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 10% / ANOVA: 11% Gut, keine WW	165
Bild 76: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 30% / ANOVA: 35% Grenzwertig, keine WW	166
Bild 77: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 10% / ANOVA: 11% Gut, keine WW	167
Bild 78: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 30% / ANOVA: 33% 1 schlechter Prüfer, keine WW.....	167
Bild 79: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 10% / ANOVA: 34% 1 Ausreisser bei 1 Prüfer, keine WW	168
Bild 80: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 10% / ANOVA: 11% Gut, keine WW	169
Bild 81: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 30% / ANOVA: 29% Grenzwertig, keine WW	169
Bild 82: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 3% / ANOVA: 7% Sehr gut, signifikante WW	170
Bild 83: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 5% / ANOVA: 18% Noch gut, signifikante WW.....	171
Bild 84: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 14% / ANOVA: 18% Noch gut, signifikante WW.....	171
Bild 85: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 6% / ANOVA: 9% Gut, geringe WW	172
Bild 86: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 13% / ANOVA: 11% Gut, keine WW	173
Bild 87: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 14% / ANOVA: 18% Noch gut, signifikante WW.....	174
Bild 88: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 18% / ANOVA: 30% Grenzwertig, signifikante WW	175
Bild 89: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 26% / ANOVA: 44% Schlecht, signifikante WW	176
Bild 90: Gauge R&R Verf. 2: Klassisch: 41% / ANOVA: 44% Schlecht, signifikante WW	176
Bild 91: Gestapelte Messwerte: 100 normalverteilte Werte	185
Bild 92: Histogramm: 100 normalverteilte Werte	186
Bild 93: Benards Median Ranks: n=100	188
Bild 94: Benards Median Ranks: n=10	188
Bild 95: Normalverteilungsnetz: 100 normalverteilte Werte	190
Bild 96: Normalverteilung, weder gestutzt noch gefaltet.....	193
Bild 97: Normalverteilung, bei -2σ gestutzt und gefaltet	193
Bild 98: Normalverteilung, bei $-1,5\sigma$ gestutzt und gefaltet	194
Bild 99: Normalverteilung, bei $-1,2\sigma$ gestutzt und gefaltet	194



Bild 100: Normalverteilung, bei $-0,5\sigma$ gestutzt und gefaltet	195
Bild 101: Normalverteilung, bei $-0,5\sigma$ gestutzt und gefaltet, interessanter Bereich bei $C_{pk}=1,33$..	196
Bild 102: Normalverteilung, nahe bei 0σ gestutzt und gefaltet.....	196
Bild 103: Gestapelte Messwerte: 100 gestutzt normalverteilte Werte	198
Bild 104: Histogramm: 100 gestutzt normalverteilte Werte	198
Bild 105: Gestutzt-Normalverteilungsnetz: 100 gestutzt normalverteilte Werte.....	201
Bild 106: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch NV angenähert (schlecht)	202
Bild 107: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch gestutzte NV angenähert (gut)	202
Bild 108: d/s bei gestutzter Normalverteilung (1).....	204
Bild 109: d/s bei gestutzter Normalverteilung (2).....	205
Bild 110: Gestapelte Messwerte: 100 rayleighverteilte Werte.....	214
Bild 111: Histogramm: 100 rayleighverteilte Werte.....	215
Bild 112: Rayleighverteilungsnetz: 100 rayleighverteilte Werte	216
Bild 113: Sinnvolles Modell (Gerade)	224
Bild 114: Nicht sinnvolles Modell (Polynom 5. Ordnung)	224
Bild 115: Sinnvolles Modell (Gerade)	225
Bild 116: Nicht sinnvolles Modell (Polynom 5. Ordnung)	225
Bild 117: Johnson S_U Verteilung.....	228
Bild 118: Überlagerung von Normalverteilungen	229
Bild 119: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch NV angenähert (schlecht)	241
Bild 120: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch gestutzte NV angenähert (gut)	241
Bild 121: Zeitlicher Werteverlauf Datensatz-1	250
Bild 122: Histogramm, 100 normalverteilte Messwerte, 10 Klassen (Datensatz_1)	253
Bild 123: Histogramm, 100 normalverteilte Messwerte, 11 Klassen (Datensatz_1)	253
Bild 124: Histogramm, 100 normalverteilte Messwerte, 10 Klassen, grobes Messmittel (Datensatz_1)	254
Bild 125: Histogramm, 1000 normalverteilte Werte, 10 Klassen	255
Bild 126: Histogramm, 1000 normalverteilte Werte, 11 Klassen	255
Bild 127: Gestapelte Messwerte, 100 normalverteilte Werte, normale Auflösung (Datensatz-1)..	257
Bild 128: Gestapelte Messwerte, 100 normalverteilte Werte, sehr feine Auflösung (Datensatz-1)	258
Bild 129: Gestapelte Messwerte, 100 normalverteilte Werte, grobe Auflösung (Datensatz-1)	258
Bild 130: Normalverteilungsnetz, 100 normalverteilte Messwerte (Datensatz-1)	261
Bild 131: Normalverteilungsnetz, 100 rayleighverteilte Messwerte (Datensatz-3).....	261
Bild 132: Rayleighverteilte Messwerte (Datensatz-3) mit überlagerter Normalverteilung	262
Bild 133: Rayleighverteilungsnetz, 100 rayleighverteilte Messwerte (Datensatz-3)	263
Bild 134: Rayleighverteilte Messwerte (Datensatz-3) mit überlagerter Rayleighverteilung.....	263
Bild 135: Normalverteilte Daten im Normalverteilungsnetz.....	265
Bild 136: Normalverteilte Daten im Gestutzt-NV Netz	266
Bild 137: Normalverteilte Daten im Rayleighnetz	267
Bild 138: Gestutzt-NV Daten im Normalverteilungsnetz	268
Bild 139: Gestutzt-NV Daten im Gestutzt-NV Netz	269
Bild 140: Gestutzt-NV Daten im Rayleighnetz (1).....	270
Bild 141: Gestutzt-NV Daten im Rayleighnetz (2).....	270
Bild 142: Rayleighverteilte Daten im Normalverteilungsnetz	271
Bild 143: Rayleighverteilte Daten im Gestutzt-NV Netz	272
Bild 144: Rayleighverteilte Daten im Rayleighnetz	273
Bild 145: Wahrscheinlichkeitsnetz bei bimodaler Verteilungsfunktion.....	275
Bild 146: Wahrscheinlichkeitsnetz bei zu breiter Verteilungsfunktion	278
Bild 147: Korrelation zwischen Messreihen	281
Bild 148: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch NV angenähert (schlecht)	292
Bild 149: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch gestutzte NV angenähert (gut)	292
Bild 150: Kolmogoroff-Smirnoff Test, Visualisierung.....	308
Bild 151: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch NV angenähert (schlecht)	312
Bild 152: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch gestutzte NV angenähert (gut)	312
Bild 153: A-D Test: Verhältnis A^*/A bei Normalverteilung.....	322



Bild 154: A-D Test: Verhältnis A^*/A bei Rayleighverteilung	328
Bild 155: Normalverteiltes SPC Mass mit $C_{pk} = 1,33$ (1).....	348
Bild 156: Normalverteiltes SPC Mass mit $C_{pk} = 1,33$ (2).....	349
Bild 157: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch gestutzte NV angenähert	353
Bild 158: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch NV angenähert (schlecht)	370
Bild 159: Gestutzt normalverteilte Messdaten, durch gestutzte NV angenähert (gut)	370
Bild 160: Pre Control Karte Eingriffsschema	401
Bild 161: Iterationshäufigkeitstest. Bild identisch mit Bild 27 (S. 77).....	404
Bild 162: Normalverteilte Messreihe, $n=50$, Werteverlauf.....	413
Bild 163: Normalverteilte Messreihe, $n=50$, gestapelte Messwerte.....	414
Bild 164: Normalverteilte Messreihe, $n=50$, Histogramm.....	414
Bild 165: Normalverteilte Messreihe, $n=50$, Wahrscheinlichkeitsnetz.....	415
Bild 166: $C_{gk} = 0,32$. Messmittel mit Auflösung 5. Mittelwert genau zwischen 2 Skalenwerten	417
Bild 167: Alphasisiko, Betarisiko, Effektgrösse, Schwellenwert, H_0 , H_1	459
Bild 168: Alphasisiko, Betarisiko, Effektgrösse, Schwellenwert, H_0 , H_1	460
Bild 169: Alphasisiko, Betarisiko, Effektgrösse, Schwellenwert, H_0 , H_1	460
Bild 170: Alphasisiko, Betarisiko, Effektgrösse, Schwellenwert, H_0 , H_1	461



Tabellenverzeichnis

Hinweis:

Es sind insgesamt weit über 200 Tabellen. In dieses Verzeichnis wurden nur diejenigen Tabellen aufgenommen, die grundlegende Zusammenhänge darstellen. Tabellen, die lediglich Rechenschritte oder einfache Ergebnisse darstellen (dies sind die meisten), wurden nicht in das Tabellenverzeichnis aufgenommen.

Tabelle 1: C_{pk} Werte, Anzahlen Sigma und Ausschussanteile: Mittelwert in Toleranzmitte.....	49
Tabelle 2: C_{pk} Werte, 90% Zufallsstreuung.....	56
Tabelle 3: C_{pk} Werte, untere 90% Vertrauensgrenze.....	56
Tabelle 4: Vergleich verschiedener Regelkarten mit $n = 1 / 5 / 25$	74
Tabelle 5: Stabilitätskriterien, allgemeiner Überblick.....	76
Tabelle 6: Zusammenhänge zwischen den ersten 4 Momenten von Verteilungsfunktionstypen....	78
Tabelle 7: Excelfunktionen für Verteilungsmomente.....	79
Tabelle 8: Messsystemanalyse, Überblick über die Verfahren 1, 2 und 3.....	135
Tabelle 9: MSA Verfahren 3, ANOVA Tabelle.....	147
Tabelle 10: MSA Verfahren 3, Gauge R&R Tabelle.....	148
Tabelle 11: MSA Verfahren 2, ANOVA Tabelle.....	158
Tabelle 12: MSA Verfahren 2, Gauge R&R mit WW Prüfer - Teil.....	159
Tabelle 13: MSA Verfahren 2, Gauge R&R ohne WW Prüfer - Teil.....	160
Tabelle 14: Verteilungsfunktionstyp vs. Mess-Situation, Charakteristika.....	180
Tabelle 15: Mess-Situation, Beispiele.....	181
Tabelle 16: Prinzip maximaler Entropie, Beispiele.....	184
Tabelle 17: $k * \sigma$ Grenzen bei gestutzter Normalverteilung.....	208
Tabelle 18: SPC, Sinnvolle Verteilungsfunktionstypen.....	219
Tabelle 19: "Natürliche" Verteilungsfunktionstypen.....	220
Tabelle 20: Verteilungszeitmodell A1.....	231
Tabelle 21: Verteilungszeitmodell A2.....	232
Tabelle 22: Verteilungszeitmodell B.....	233
Tabelle 23: Verteilungszeitmodell C1.....	233
Tabelle 24: Verteilungszeitmodell C2.....	234
Tabelle 25: Verteilungszeitmodell C3.....	234
Tabelle 26: Verteilungszeitmodell C4.....	235
Tabelle 27: Verteilungszeitmodell D.....	236
Tabelle 28: Visualisierungsmethoden, Überblick.....	238
Tabelle 29: Excelvorlagen für visuelle Tests, Überblick.....	239
Tabelle 30: Messdaten in verschiedenen Wahrscheinlichkeitsnetzen, Kapitelübersicht.....	264
Tabelle 31: Signifikante Korrelationskoeffizienten für ausgewählte n	282
Tabelle 32: Anpassungstests, Übersicht.....	286
Tabelle 33: Excelvorlagen Chi Quadrat Test, Überblick.....	289
Tabelle 34: Kolmogoroff-Smirnoff Testvarianten, Übersicht.....	305
Tabelle 35: Kolmogoroff-Smirnoff Test, Visualisierung.....	307
Tabelle 36: KS Test Excelvorlagen, Überblick.....	309
Tabelle 37: Schwellenwerte A-D Test (Normalverteilung).....	322
Tabelle 38: Schwellenwerte A-D Test (Rayleighverteilung).....	329
Tabelle 39: Ausreissertests, Übersicht.....	330
Tabelle 40: Tests auf Stabilität des Mittelwerts, Überblick.....	339
Tabelle 41: C_{pk} Werte vs. Ausschuss.....	351
Tabelle 42: Grad der Berechenbarkeit der Eingriffsgrenzen.....	360
Tabelle 43: Eingriffsgrenzen für den Mittelwert bei Normalverteilung, Excelformeln.....	364
Tabelle 44: Eingriffsgrenzen für die Standardabweichung bei Normalverteilung, Excelformeln...	367
Tabelle 45: Eingriffsgrenzen f. d. Standardabweichung.....	368
Tabelle 46: Gestutzte NV: Korrekturfaktoren Eingriffsgrenzen Mittelwert. $p = 0,1\%$	377
Tabelle 47: Gestutzte NV: Korrekturfaktoren Eingriffsgrenzen Mittelwert. $p = 0,27\%$	378



Tabelle 48: Gestutzte NV: Korrekturfaktoren Eingriffsgrenzen Mittelwert. $p = 1\%$	379
Tabelle 49: Gestutzte NV: Korrekturfaktoren Eingriffsgrenzen Standardabweichung. $p = 0,1\%$..	381
Tabelle 50: Gestutzte NV: Korrekturfaktoren Eingriffsgrenzen Standardabweichung. $p = 0,27\%$	382
Tabelle 51: Gestutzte NV: Korrekturfaktoren Eingriffsgrenzen Standardabweichung. $p = 1\%$	383
Tabelle 52: Gestutzte Normalverteilung: Beispielskizzen Ermittlung d. Eingriffsgrenzen.....	384
Tabelle 53: Rayleighverteilung: Korrekturfaktoren Eingriffsgrenzen Mittelwert	392
Tabelle 54: Rayleighverteilung: Korrekturfaktoren Eingriffsgrenzen Standardabweichung	393
Tabelle 55: Rayleighverteilung: Beispielskizzen f. d. Ermittlung der Eingriffsgrenzen.....	394
Tabelle 56: Gegenüberstellung verschiedener Prozess-Situationen und Mess-Strategien	432
Tabelle 57: ANOVA Details MSA Verfahren 2, <i>signifikante</i> WW.....	453
Tabelle 58: ANOVA Details MSA Verfahren 2, <i>nicht</i> signifikante WW	456



1 Einleitung

1.1 Motivation für SPC und Einordnung in den betrieblichen Kontext

Statistische Prozessregelung ist eine Alternative zu 100% Kontrollen in Produktionsprozessen. Wann immer technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, sollte eine vollautomatische 100% Kontrolle der SPC vorgezogen werden, da sie

- bei jeder Prozessqualität auf lange Sicht bessere Ergebnisse liefert
- höhere (insbesondere statistische) Sicherheit bietet
- Abweichungen und Trends *früher* erkennt
- Ausreisser *überhaupt* erkennt
- allen Beteiligten leichter vermittelbar ist

SPC kann eine Alternative sein, wenn 100% Kontrollen entweder technisch nicht möglich, oder wirtschaftlich nicht vertretbar sind. Dabei handelt es sich um Prozesse,

- die sehr grosse Stückzahlen abwerfen
- die mehrere bis viele Masse beinhalten
- die wirksam regelbar sind
- deren Masse
 - nicht einfach, insbesondere nicht in Echtzeit, messbar sind
 - technologisch *wenig* anspruchsvoll sind

Der Kontrollaufwand bei SPC beträgt zwar nur einen kleinen Bruchteil des Aufwandes einer 100% Kontrolle, doch dafür sind die Anforderungen an den Prozess so hoch, dass, branchenübergreifend betrachtet, die meisten Produktionsprozesse für SPC grundsätzlich nicht in Frage kommen.

Der Grund ist, dass viele Masse technologisch derart anspruchsvoll sind, sodass sie nicht mit Leichtigkeit eingehalten werden können. Es ist normal, und dem ingenieurstechnischen Ehrgeiz geschuldet, dass aktuell verfügbare Technologie „ausgereizt“ wird, was sich insbesondere darin äussert, dass Toleranzangaben selten reichlich dimensioniert werden.

SPC dient *nicht* dazu, um Prozesse zu verbessern, Zeit, Budget oder was auch immer einzusparen, denn die Umstellung von „konventionellen“ Prozessen auf SPC gelingt sowieso nicht. Es ist auch *keine* Alternative zu "herkömmlichen" Prozessen, sondern diese Methodik bietet schlicht und einfach bei gewissen Rahmenbedingungen Vorteile.

1.1.1 “Show Program for Customer” (SPC)

Lieferanten sehen sich seit spätestens Mitte der 1990er Jahre einem kundenseitigen C_{pk} -Wahn ausgesetzt. Offenbar wird SPC von Vielen für „besser“ oder „fortschrittlich“ gehalten. Ausserdem ist SPC seit längerem ein wirtschaftlich bedeutendes Schulungsthema im Bereich des Qualitätsmanagements.

Der Grund ist derselbe wie bei anderen QM Moden: Was in einer bestimmten Branche erfolgreich gewesen ist (Halbleitertechnik), lässt sich auch in anderen Branchen vermarkten. Diese scheinbare Bedeutung steht aber in keiner vernünftigen Relation zu den wenigen möglichen Anwendungsfällen in der westlichen Industrie, die das technologisch Machbare fast immer ausreizt.