

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
1 Einleitung .....	1
2 Umfeld der Statistischen Tolerierung .....	3
2.1 Toleranzgerechte Konstruktion .....	3
2.2 Toleranzgerechte Fertigung .....	4
2.3 Toleranzgerechte Qualitätssicherung .....	5
3 Berechnung von Maßketten .....	6
3.1 Grundbegriffe der Tolerierung .....	6
3.2 Beschreibung der Maßtoleranzzone .....	7
3.3 Entstehung von Maßketten .....	8
3.4 Bedeutung des Schließmaßes und der Schließmaßtoleranz .....	8
3.5 Arithmetische Berechnung von Toleranzketten .....	9
4 Grundlagen der Statistischen Tolerierung .....	14
4.1 Mathematische Grundlagen .....	14
4.1.1 Allgemeine Statistik .....	14
4.1.2 Ermittlung von Verteilungen .....	18
4.1.3 Großserienverteilung .....	21
4.1.3.1 Allgemeine Beschreibung von stetigen Verteilungen .....	21
4.1.3.2 Beschreibung der Gauß'schen Normalverteilung .....	22
4.1.4 Zusammenhang zwischen Standardabweichung und Toleranz .....	24
4.2 Verknüpfung mehrerer Maße .....	25
4.2.1 Maßketten .....	25
4.2.2 Mittelwertsatz .....	25
4.2.3 Abweichungsfortpflanzungsgesetz .....	26
4.2.4 Anwendung des Abweichungsfortpflanzungsgesetzes und des Mittelwertsatzes .....	27
4.2.4.1 Behandlung linearer Maßketten .....	27
4.2.4.2 Behandlung ebener Maßketten .....	27
4.2.4.3 Elektrische Schaltung als Maßkette .....	28
4.2.5 Zentraler Grenzwertsatz .....	31
4.2.5.1 Nachweis des zentralen Grenzwertsatzes .....	31
4.2.5.2 Beispiel für die Verknüpfung mehrerer Maße .....	31
4.3 Die Faltung .....	33
5 Analyse von Grundproblemen bei der Maßketten-Verknüpfung .....	35
5.1 Symbolische Montage von rechteckig verteilten Sollmaßen .....	36
5.1.1 Tolerierungsparameter .....	36
5.1.2 Tabellarische Ergebnisübersicht .....	36
5.1.3 Toleranzanalyse .....	37
5.2 Symbolische Montage von dreieckig verteilten Sollmaßen .....	40
5.2.1 Tolerierungsparameter .....	40
5.2.2 Tabellarische Ergebnisübersicht .....	40
5.2.3 Toleranzanalyse .....	41

5.3	Symbolische Montage von normal- und dreieckig verteilten Sollmaßen .....	42
5.3.1	Tolerierungsparameter .....	42
5.3.2	Tabellarische Ergebnisübersicht .....	42
5.3.3	Toleranzanalyse.....	43
5.4	Symbolische Montage von normalverteilten Sollmaßen.....	44
5.4.1	Tolerierungsparameter .....	44
5.4.2	Tabellarische Ergebnisübersicht .....	44
5.4.3	Toleranzanalyse.....	45
5.5	Symbolische Montage von normalverteilten Sollmaßen.....	46
5.5.1	Tolerierungsparameter .....	46
5.5.2	Tabellarische Ergebnisübersicht .....	46
5.5.3	Toleranzanalyse.....	47
5.5.4	Sensitivitätsanalyse .....	48
5.6	Symbolische Montage normalverteilter Sollmaße mit Spiel.....	49
5.6.1	Tolerierungsparameter .....	49
5.6.2	Tabellarische Ergebnisübersicht .....	49
5.6.3	Toleranzanalyse.....	50
5.7	Symbolische Montage zweier Sollmaße mit Form- und Lagetoleranz .....	52
5.7.1	Tolerierungsparameter .....	52
5.7.2	Tabellarische Ergebnisübersicht .....	52
5.7.3	Toleranzanalyse.....	53
5.7.4	Form- und Lagetoleranzen .....	55
5.8	Sollmaßabstimmung für eine Baugruppenfunktionalität.....	56
5.8.1	Tolerierungsparameter .....	56
5.8.2	Toleranzanalyse.....	57
5.9	Übergreifendes Beispiel zur Toleranzanalyse .....	59
5.9.1	Montagesituation .....	59
5.9.2	Aufstellung des Maßplans .....	60
5.9.3	Arithmetische Tolerierung .....	60
5.9.4	Statistische Tolerierung.....	61
5.9.5	Montagesimulation.....	65
6	Toleranzsynthese.....	69
7	Robust Design .....	71
7.1	Praktische Bedeutung .....	71
7.2	Herkömmliche Toleranzphilosophie .....	71
7.3	Japanische Toleranzphilosophie.....	72
7.4	Beispiel zur Quantifizierung des Qualitätsverlustes.....	74
7.4.1	Definitionen zum Toleranzdesign .....	74
7.4.2	Ermittlung einer wirtschaftlichen Toleranz.....	74
7.4.3	Bewertung des tatsächlichen Qualitätsverlustes .....	77
7.4.4	Problematik der Herstellungstoleranzen .....	79
7.5	Praktischer Ansatz .....	82
8	Überwachung eines Produktionsprozesses.....	83
8.1	Fähigkeitsnachweise.....	83
8.2	Die Qualitätsregelkarte (QRK).....	84

9	Statistische Prozesslenkung.....	86
9.1	Prozessgüte und Prozessfähigkeit.....	86
9.2	Prozessgüte.....	86
9.3	Prozessfähigkeitsindizes.....	87
9.3.1	Relative Prozessstreuung.....	87
9.3.2	Prozessfähigkeit.....	88
9.3.3	Prozessfähigkeitsindex.....	88
9.3.4	Bewertung der Prozessfähigkeit.....	89
9.3.5	Prozessbeurteilung.....	90
9.3.6	Maschinenfähigkeitsindizes.....	91
9.3.7	Messmittelfähigkeit.....	91
10	Simulation der Montage einer Baugruppe bei gleichverteilten Fertigungstoleranzen.....	92
10.1	Arithmetische Berechnung.....	93
10.2	Statistische Berechnung.....	93
10.3	Simulation.....	94
10.4	Bauteilpool.....	95
11	Toleranzrechnung an linearen Systemen.....	100
11.1	Analyse einer Presspassung.....	101
11.1.1	Zeichnerische Darstellung.....	101
11.1.2	Tolerierungsparameter.....	101
11.1.3	Tabellarische Ergebnisübersicht.....	101
11.1.4	Berechnungen.....	102
11.2	Analyse einer Spielpassung.....	107
11.2.1	Zeichnerische Darstellung.....	107
11.2.2	Konstruktionsparameter.....	107
11.2.3	Tabellarische Kurzübersicht.....	107
11.2.4	Berechnungen.....	108
11.3	Analyse eines Türfeststellers.....	113
11.3.1	Zeichnerische Darstellung.....	113
11.3.2	Maßgrößen aller Einzelteile.....	113
11.3.3	Vektorieller Maßplan.....	114
11.3.4	Tabellarische Kurzübersicht.....	114
11.3.5	Berechnungen.....	115
11.4	Analyse einer Laufrolle.....	119
11.4.1	Zeichnerische Darstellung.....	119
11.4.2	Parameter.....	121
11.4.3	Maßplan.....	121
11.4.4	Betrachtung der Form- und Lagetoleranzen der Baugruppe.....	122
11.4.5	Tabellarische Kurzübersicht.....	122
11.4.6	Berechnungen.....	123
11.5	Toleranzkennzeichnung nach DIN 7186.....	126
12	Toleranzrechnung an nichtlinearen Systemen.....	129
12.1	Anwendungsumfeld.....	129
12.2	Vorgehen.....	129
12.3	Volumentolerierung.....	130
12.4	Bestimmung eines Lochabstandes.....	136
12.5	Schaltung von Ohm'schen Widerständen.....	142

12.6 Schubkurbelgetriebe.....	147
12.7 Reibschlussverbindung.....	153
13 Toleranzen und Passungen in der Kunststofftechnik.....	159
13.1 Einflussfaktoren auf Maßungenaugkeiten in der Kunststofftechnik.....	159
13.1.1 Fertigungsbedingte Maßabweichungen.....	160
13.1.2 Anwendungsbedingte Maßabweichungen.....	160
13.2 Ursachen für die Maßabweichungen.....	161
13.3 Einflussfaktoren auf Werkzeug- und Formteilmaß.....	162
13.4 Verarbeitungsschwindung.....	163
13.5 Beispiel zur Tolerierung von Kunststoffteilen.....	163
13.5.1 Verteilungsgesetzmäßigkeit.....	163
13.5.2 Auswertung.....	163
13.5.2.1 Ermittlung des Maßverhaltens.....	163
13.5.2.2 Ermittlung der Schwindungsverteilung.....	165
14 Rechnerunterstützte Toleranzsimulation.....	167
A Anhang.....	172
B Glossar.....	179
C Fallbeispiele zur Statistischen Tolerierung.....	201
D Einige Softwareprogramme zur Tolerierung.....	216
E Literatur.....	218
Stichwortverzeichnis.....	223