

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Bezeichnungen und Formelzeichen	VII
1 Einführung	1
1.1 Problembeschreibung	2
1.2 Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	3
2 Grundlagen zur Tolerierung und Toleranzanalyse.....	5
2.1 Grundlegende Richtlinien und die historische Entwicklung von Bemaßung und Tolerierung	5
2.2 Die zeichnerische Darstellung und die Bemaßung in den heutigen ISO- bzw. DIN-Normen	6
2.2.1 Die Darstellung der Werkstückgeometrie in der Zeichnung	6
2.2.2 Grundlagen der Bemaßung in den heutigen Normen	7
2.3 Tolerierungsgrundlage in den gegenwärtigen Normen	8
2.3.1 Maßtoleranzen	9
2.3.2 Form- und Lagetoleranzen.....	9
2.3.3 Tolerierungsgrundsätze.....	10
2.3.4 Allgemeintoleranzen.....	10
2.3.5 Voneinander abhängige Toleranzen und Toleranzketten	11
2.4 Anwendung von Form- und Lagetoleranzen	11
2.4.1 Die symbolische Darstellung von Form- und Lagetoleranzen	11
2.4.2 Formtoleranzen und Minimum-Bedingung	12
2.4.3 Bezug und Bezugssystem	12
2.5 Maßketten, Toleranzanalyse und -synthese mit konventionellen Verfahren	16
2.5.1 Physikalische Maßketten	16
2.5.2 Geometrische Maßketten	17
2.5.3 Toleranzanalyse und -synthese	18
2.5.4 Lineare eindimensionale Maßketten.....	19
2.5.5 Einbeziehung von Form- und Lagetoleranzen in lineare Maßketten und Toleranzketten.....	21
2.5.6 Verfahren zur Toleranzrechnung.....	23
2.5.6.1 Vollständige Austauschbarkeit und Maximum-Minimum-Methode	24
2.5.6.2 Wahrscheinlichkeitstheoretische Methode.....	24
2.5.6.3 Kompensations- (Justier-) methode	25
2.5.6.4 Methode der Gruppenaustauschbarkeit.....	26
2.5.7 Ebene zweidimensionale geometrische Maßketten und die Verfahren zur Toleranzanalyse bei solchen Maßketten	26

2.5.8	Diskussion der vorhandenen Theorien und Methoden zur Toleranzanalyse.....	27
2.6	Die moderne Meßtechnik fördert neue Gedanken zur Bemaßung und Tolerierung.....	28
2.6.1	Unzulänglichkeiten der konventionellen Meßtechnik und der heutigen gültigen ISO bzw. DIN Normen zur Bemaßung und Tolerierung.....	28
2.6.2	Das Prinzip der Koordinatenmeßtechnik	30
2.6.3	Die vektorielle Tolerierung	30
3	Anforderungen an Parallelführungen bei Werkzeugmaschinen	33
3.1	Konstruktiver Aufbau und Funktionsweise von Parallelführungen.....	33
3.1.1	Konstruktiver Aufbau von Parallelführungen	33
3.1.2	Genauigkeitsanforderungen an Parallelführungen	34
3.2	Parallelführungen bei Werkzeugmaschinen.....	36
3.2.1	Funktionsprinzipien und Hauptaufgaben von Führungen an Werkzeugmaschinen.....	36
3.2.2	Statische Überbestimmtheit bei Parallelführungen.....	38
4	Die Toleranzmodelle des Unter- und Oberteils	41
4.1	Entwicklung des Toleranzmodells des Unterteils	41
4.1.1	Zeichnerische Darstellung und Toleranzangaben des Unterteils	41
4.1.2	Tolerierung der Matrizenbohrung und Festlegen der Bezugsachse Z_B	42
4.1.3	Die Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den Rechtwinkligkeitstoleranzen der Führungssäulen und der Lagetoleranz der Matrize.....	44
4.1.4	Die Wechselwirkungen zwischen der Maßtoleranz und den Rechtwinkligkeitstoleranzen an den Führungssäulen	47
4.1.5	Das Toleranzmodell des Unterteils	54
4.2	Das Toleranzmodell des Oberteils	56
5	Geometrische Grundlage der Parallelführung	58
5.1	Geometrische Eigenschaften von zwei räumlichen Geraden.....	58
5.2	Symmetriekordinatensystem	60
5.3	Die Lage des Aufenthaltsraums der Symmetrieachse relativ zur Bezugsachse	62
5.3.1	Fehlerabschätzung der Ersetzung des Punktes O_S durch den Punkt O_B	62
5.3.2	Die Lage des Aufenthaltsraums der Symmetrieachse relativ zur Bezugsachse.....	68
6	Entwicklung des Toleranzmodells der Parallelführung	71
6.1	Toleranzketten	71
6.2	Der Aufenthaltsraum der Symmetrieachse der Führungssäulen	75
6.2.1	Aufenthaltsraum der Symmetrieachse in einem Querschnitt	75
6.2.2	Vollaufenthaltsfläche in der Ebene	77
6.2.3	Der Aufenthaltsraum der Symmetrieachse der Führungssäulen	79
6.3	Toleranzmodell der Parallelführung.....	80
6.4	Berechnung der Schließtoleranz	82
7	Bedingungen, bei denen Klemmen vermieden wird	85

7.1	Der Aufenthaltsraum der Mittellinien A_l und A_r	85
7.2	Bedingung zum Vermeiden von Klemmen.....	88
7.3	Ermittlung des Grenzspiels bei gegebenen Toleranzen	90
8	Sensitivitätsanalyse und Diskussion	94
8.1	Sensitivitätsanalyse.....	94
8.1.1	Einfluß der einzelnen Toleranzen auf den Winkel β_{max}	94
8.1.2	Einfluß der einzelnen Toleranzen auf die Schließtoleranz T_0	95
8.1.3	Einfluß der einzelnen Toleranzen auf das Klemmen	98
8.1.4	Die Zusammenhänge zwischen dem Grenzspiel und der Schließtoleranz	99
8.2	Diskussion der entwickelten Methoden zur Toleranzanalyse.....	100
9	Aufenthaltsflächenberechnung in der Ebene bei gegebenen Achsabständen	102
9.1	Fallunterscheidung	103
9.2	Fall 1, gültig für die Längenbeziehung $l_b - (r_l + r_r) \leq l_w < l_b - (r_l - r_r)$	103
9.3	Fall 2, gültig für die Längenbeziehung $l_b - (r_l - r_r) \leq l_w \leq l_b + (r_l - r_r)$	109
9.4	Fall 3, gültig für die Längenbeziehung $l_b + (r_l - r_r) < l_w \leq l_b + (r_l + r_r)$	114
9.5	Die Zusammenhänge zwischen den Aufenthaltsflächen	116
10	Analyse der Teilaufenthaltsflächen bei eingeschränkter Drehmöglichkeit	117
10.1	Teilaufenthaltsfläche für einen bestimmten Winkel φ zwischen den Strecken $O_w l O_{wr}$ und $O_{bl} O_{br}$	117
10.2	Grenzwinkel φ_g , bei dem Klemmen gerade noch vermieden wird.....	119
10.3	Teilaufenthaltsfläche und ihre Abhängigkeiten	120
10.3.1	Ermittlung der Übergangswinkel φ_{l1} und φ_{l2} für die Längenbeziehung $l_b - (r_l + r_r) < l_w < l_b - (r_l - r_r)$	120
10.3.2	Ermittlung der Übergangswinkel φ_{l1} , φ_{l2} und φ_{l3} für die Längenbeziehung $l_b - (r_l - r_r) < l_w < l_b + (r_l - r_r)$	124
10.3.3	Die Übergangswinkel φ_{l1} und φ_{l2} für die Längenbeziehung $l_b + (r_l - r_r) < l_w < l_b + (r_l + r_r)$	128
10.4	Summenaufenthaltsfläche für den Winkelbereich $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$	128
10.4.1	Fall $l_b - (r_l + r_r) < l_w \leq l_b - (r_l - r_r)$	128
10.4.2	Fall $l_b - (r_l - r_r) < l_w \leq l_b + (r_l - r_r)$ und $l_b + (r_l - r_r) < l_w \leq l_b + (r_l + r_r)$	131
11	Istaufenthaltsraum	132
11.1	Wechselwirkungen zwischen den Aufenthaltsflächen in verschiedenen Schnittebenen E_{no} und E_{nu}	132
11.1.1	Räumliche geometrische Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Schnittebenen E_{no} und E_{nu}	132
11.1.2	Die Zusammenhänge zwischen dem Grenzwinkel und den zulässigen Dreh- winkel der lokalen und globalen Koordinatenachse in einer Schnittebene	134
11.1.3	Die realen zulässigen Drehwinkel der globalen Koordinatenachse X_w unter der Berücksichtigung der Verhältnisse in der beiden Schnittebenen	136
11.2	Der Istaufenthaltsraum der Symmetrieachse Z_{Sw} relativ zur Symmetrieachse Z_{Sb}	138

11.2.1 Die Aufenthaltsflächen in den oberen und unteren Schnittebenen und der daraus resultierende Istaufenthaltsraum der Achse Z_{S_w} relativ zur Achse Z_{S_b}	138
11.2.2 Bestimmung der real erreichbaren Aufenthaltsflächen in den Ebenen E_{no} und E_{nu}	139
11.3 Der Istaufenthaltsraum der Bezugsachse Z_{B_w} relativ zur Bezugsachse Z_{B_b}	142
11.4 Allgemeines Kriterium für das Vermeiden von Klemmen	142
11.5 Sensitivitätsanalyse	143
11.5.1 Einfluß der Spiele	144
11.5.2 Einfluß der Längenbeziehung zwischen den örtlichen Istmaßen l_b und l_w	144
11.5.3 Einfluß des Winkels γ	146
12 Über das Rechenprogramm	147
13 Zusammenfassung und Ausblick	148
Literaturverzeichnis	150
Anhang: Erläuterung des Rechenprogramms	154