

Dipl.-Ing. Franz Ludwig Koller, Graz

**CAD-gestützte Toleranz-  
rechnung basierend auf  
der Auswertung von  
Kontaktkräften in einem  
Mehrkörpersimulations-  
modell**

Reihe **20**: Rechnerunterstützte  
Verfahren

Nr. **219**

## Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung .....	1
1.1 Einführung .....	1
1.2 Aufbau der Arbeit .....	3
2 Stand der Technik .....	4
2.1 Konventionelle Tolerierung .....	4
2.1.1 Grundbegriffe der Toleranzrechnung .....	4
2.1.2 Normung im Bereich der Toleranzrechnung .....	9
2.1.3 Praxis bei der Toleranzrechnung und Toleranzfestlegung .....	14
2.1.4 Realisierbarkeit von Toleranzen in Fertigung und Montage .....	15
2.2 Berücksichtigung der Ergebnisse der Toleranzrechnung in anderen Bereichen .....	16
2.2.1 Übergabe der Ergebnisse an die Fertigung und Montage .....	16
2.2.2 Übergabe der Ergebnisse an die Qualitätssicherung .....	17
2.2.3 Berücksichtigung der Toleranzen durch konstruktive Maßnahmen .....	17
2.3 Stand der Technik bei CAD-Systemen .....	19
2.3.1 Entwicklungsstand von CAD-Systemen .....	19
2.3.2 Rechnerunterstützung in den einzelnen Phasen der Konstruktion .....	22
2.4 CAD-Unterstützung bei der Toleranzrechnung in kommerziellen Systemen .....	23
2.4.1 Unterstützung im Bereich der Toleranzeintragung .....	23
2.4.2 Berechnung von Maßketten .....	23
2.4.3 Behandlung von Toleranzen in Geometriemodellierern .....	24
2.5 Forschungsansätze zur rechnergestützten Toleranzrechnung .....	30
2.5.1 Aktuelle Forschungsarbeiten .....	30
2.5.2 Weiter zurückliegende Arbeiten auf dem Gebiet der allgemeinen Toleranzrechnung .....	32
2.5.3 Arbeiten zum Thema Toleranzen und Funktion .....	33
2.6 Mehrkörpersimulationsprogramme .....	35
2.6.1 Mechanische und datentechnische Grundlagen .....	35
2.6.2 Einsatz von Mehrkörpersimulationsprogrammen in der Praxis .....	36
2.7 Bedeutung der Grüblergleichung für die Toleranzrechnung .....	39
2.7.1 Grundbegriffe der Grüblergleichung .....	39
2.7.2 Anwendung der Grüblergleichung in der Getriebetechnik .....	45
2.7.3 Erschwernisse bei der Anwendung der Grüblergleichung .....	47
2.7.3 Anwendung der Grüblergleichung auf Fragestellungen der Toleranzrechnung .....	50
2.7.3.1 Anwendung auf Lagetoleranzen und lagebeschreibende Maßtoleranzen .....	51
2.7.3.2 Anwendung auf Formtoleranzen und formbeschreibende Maßtoleranzen .....	52
3 Anforderungen an ein ideales Tolerierungswerkzeug und dessen Konzept .....	56
3.1 Konstruktionsseitige Anforderungen an ein Toleranzrechnungswerkzeug .....	57
3.2 Erweiterung des Produktmodells .....	61
3.3 Idealer Ablauf der Tolerierung .....	66

4 Grundzüge des realisierten Toleranzrechnungsverfahrens .....	69
4.1 Toleranzmodell und Prinzip des Toleranzrechnungsverfahrens.....	69
4.1.1 Bildung des Toleranzmodells .....	69
4.1.2 Strukturanalyse zur Ermittlung der statischen Bestimmtheit.....	72
4.1.3 Verschiedene Arten der Strukturanalyse.....	73
4.1.4 Toleranzanalyse .....	76
4.2 Struktur des realisierten Rechnerwerkzeuges und ihre Einbindung in die Konstruktionsumgebung.....	80
5 Datenbeschaffung und Mehrkörpersimulation.....	83
5.1 Erweiterung der CAD-Datenbasis .....	83
5.2 Konstruktionskatalog zur Datengewinnung .....	86
5.2.1 Systematik von Konstruktionselementen .....	86
5.2.1.1 Gelenksystematik.....	87
5.2.1.2 Systematik von Maschinenelementen .....	90
5.2.1.3 Behandlung von produktspezifischen Elementen .....	92
5.2.2 Realisierung in Euclid, stellvertretend für volumetrische Systeme .....	92
5.2.3 Konzept in Pro/Engineer, stellvertretend für die parametrischen Systeme .....	95
5.3 Flächenanalyse zur Ermittlung der Kontaktart .....	96
5.4 Beschreibung von Konstruktionselementen mit Mitteln der Mehrkörpersimulation .....	100
5.4.1 Beschreibung von Flächenpaarungen über Kraftelemente.....	100
5.4.2 Beschreibung von Elementargelenken über ideale Gelenke und Kraftelemente.....	105
5.4.3 Aufbau von komplexeren Konstruktionselementen .....	106
5.5 Zusammenhang zwischen Modellierungsstrategien und dem numerischem Verhalten .....	107
5.5.1 Standard Modellierungsmethode .....	107
5.5.2 Verwendete Modellierungsmethode .....	109
5.5.3 Möglichkeiten zum Wechseln der Modellierungsstrategie .....	109
6 Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen.....	110
6.1 Arbeitsweise des Werkzeuges anhand von Anwendungsbeispielen .....	110
6.1.1 Allgemeine Toleranzrechnungsaufgabe.....	110
6.1.2 Hilfestellung bei toleranzbedingten Montageproblemen .....	115
6.1.3 Kinematisch/Dynamisches Problem .....	119
6.2 Einsatzmöglichkeiten und -grenzen aus heutiger Sicht .....	121
6.3 Ausblick.....	123
7 Zusammenfassung.....	124
Bilderanhang .....	125
Begriffsdefinitionen & Abkürzungen .....	137
Literaturverzeichnis .....	148