

Ein Beitrag zur Entwicklung
semiaktiver Flugzeugfahrwerksysteme

Vom Promotionsausschuß der
Technischen Universität Hamburg-Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation

von

M.Sc. Ximing Wang

aus Shaanxi, China

2000

ULB Darmstadt



17534661

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Flugzeugfahrwerksysteme	1
1.2 Anforderung an Fahrwerkstoßdämpfer	2
1.3 Stand der Technik	5
1.3.1 Konventionelle Flugzeugfahrwerkstoßdämpfer	5
1.3.2 Bisherige Untersuchungen	7
1.4 Problemstellung und Zielsetzung	10
2 Modellbildung für Flugzeug- und Fahrwerksystemdynamik	13
2.1 Überblick über die Modellbildung	13
2.2 Dynamik des Vertikalteilsystems	16
2.2.1 Vertikaldynamik der Flugzeugstruktur	17
2.2.2 Vertikaldynamik der Räder	20
2.2.3 Interaktion zwischen Flugzeugstruktur und Fahrwerke	21
2.3 Dynamik des Horizontalteilsystems	23
2.4 Radachsenkräfte und Reifen/Boden-Kräfte	25
2.4.1 Darstellung der Radachsenkräfte	25
2.4.2 Schwingung der Fahrwerkstruktur	25
2.4.3 Reifen/Bodenkräfte	27
2.5 Aerodynamische Kräfte und Momente	31
2.5.1 Darstellung aerodynamischer Kräfte und Momente	31
2.5.2 Bestimmung aerodynamischer Beiwerte	33
2.6 Modellierung der Flugzeugfahrwerkstoßdämpfer	36
2.6.1 Allgemeine Beschreibung	36
2.6.2 Hauptfahrwerkstoßdämpfer	39

2.6.3	Bugfahrwerkstoßdämpfer	43
2.7	Anfangs- und Randbedingungen	45
2.7.1	Anfangsbedingungen	45
2.7.2	Randbedingungen	47
3	Strategie zur Verminderung der Strukturlast beim Landestoß	48
3.1	Zwei-Massen-Fahrwerkmodell	50
3.2	Stoßenergie des Flugzeugs	51
3.3	Minimierung der Strukturlast mit der Energiebedingung	54
3.3.1	Idealer Verlauf der Strukturlast	54
3.3.2	Optimierungsstrategien der Strukturlast	56
3.3.3	Optimaler Strukturlastverlauf bei weicher Landung	61
3.3.4	Dämpfungskraft nach dem ersten Stoß	63
4	Optimierungsstrategien für die Bodenbewegung	65
4.1	Zielsetzung und allgemeine Darstellung	65
4.2	Optimierung nach Strukturbelastung und Passagierkomfort	67
4.2.1	Ideale Strukturlast beim Rollen am Boden	67
4.2.2	Optimierung des Passagierkomforts	69
4.3	Kompromiß zwischen Passagierkomfort und Radlastschwankung	70
4.3.1	Inhärente Eigenschaften des Fahrwerksystems	70
4.3.2	Adaptierungsstrategie gegen Radlastschwankungen	73
4.4	Optimierungsstrategie für semiaktive Fahrwerksysteme	76
5	Konzept semiaktiver Flugzeugfahrwerksysteme	78
5.1	Realisierung semiaktiver Optimierungsstrategien	78
5.2	Bestimmung der Drosselgeometrien im Stoßdämpfer	80
5.3	Adaptive pneumatische Feder	82
5.3.1	Flugzeugmassenabhängig adaptive Feder	83
5.3.2	Stoßenergieabhängig adaptive Feder	84
6	Regelung semiaktiver Flugzeugfahrwerksysteme	87
6.1	Auswahl der Regelungsmethode	87
6.2	Einführung in die Fuzzy-Regelung	88
6.3	Auslegung des Fuzzy-Reglers für den Landestoß	93
6.3.1	Auswahl der Ein- und Ausgangsgrößen	93

6.3.2	Konfigurierung der Regelkreisstruktur	93
6.3.3	Struktur des Fuzzy-Reglers	95
6.3.4	Erstellung der Regelbasis	98
6.3.5	Skalierungsfaktoren der Ein- und Ausgangsgrößen	99
6.3.6	Validierung des Fuzzy-Reglers durch Simulation	100
6.4	Auslegung des Fuzzy-Reglers für die Bodenbewegung	103
6.4.1	Auslegung des Fuzzy-Reglers	103
6.4.2	Fuzzy-Korrektur	107
6.4.3	Vergleich des Fuzzy-Reglers mit einem On-Off-Regler	108
6.5	Erweiterung der Regelung	111
6.5.1	Erweiterung der Regelung für die Bodenbewegung	111
6.5.2	Erweiterung der Regelung beim Landestoß	114
7	Flugzeugdynamische Bewertung semiaktiver Fahrwerksysteme	119
7.1	Minderung der Strukturlast beim Landestoß	119
7.2	Verbesserung des Passagierkomforts bei der Bodenbewegung	124
7.3	Verbesserung der Flugzeugdynamik beim Bremsen	131
7.4	Sensitivität semiaktiver Fahrwerksysteme	134
8	Zusammenfassung und Ausblick	138
A	Definitionen der Vektoren, Matrizen und Variablen	142
A.1	Orientierungswinkel der Fahrwerkfederbeine	142
A.2	Vektoren und Matrizen der Flugzeugdynamik	143
A.3	Variablen der aerodynamischen Beschreibung	145
A.4	Äquivalente Drosselfläche der Stoßdämpfer	145
B	Daten des Beispielflugzeugs	146
	Literaturverzeichnis	149