

Passive und aktive Schwingungstilger im Fahrwerk
zur Steigerung von Fahrkomfort und Fahrsicherheit

Von der Fakultät für Maschinenwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Michael Panagiotidis

Berichter:

Universitätsprofessor Dr.-Ing. Henning Wallentowitz
Universitätsprofessor Dr.-Ing. Burkhard Corves

Inhalt

1	Einleitung	9
1.1	Motivation	9
1.2	Ziel der Arbeit	10
2	Einführung in die Thematik	12
2.1	Anforderungen an das Fahrwerk	12
2.2	Stand der Technik	15
2.2.1	Wirkungsprinzip und Theorie der Schwingungstilgung	15
2.2.2	Schwingungstilger im Automobilbau	20
2.2.3	Passive Schwingungstilger im Fahrwerk	21
2.2.4	Aktive Schwingungstilger im Fahrwerk	24
3	Beschreibung von Fahrzeugen, Anregungen und Bewertungskriterien	26
3.1	Modellierung von Fahrzeugen	26
3.2	Klassifikation der Schwingungsanregungen auf das Fahrzeug	29
3.2.1	Fahrbahnanregung	30
3.2.2	Rad-Reifenanregung	33
3.3	Bewertungskriterien des Fahrzeugverhaltens	34
3.3.1	Fahrsicherheit	35
3.3.2	Schwingungskomfort	36
3.3.3	Bauraum	40
3.3.4	Leistungsbedarf	40
4	Modellbildung	42
4.1	Mehrkörpersysteme	42
4.1.1	Kinematik	43
4.1.2	Kinetik	44

4.1.3	Bewegungsgleichungen	45
4.2	Modellierung eines Schwingungstilgers im Fahrwerk	46
4.2.1	Kinematik	47
4.2.2	Kinetik	48
4.2.3	Bewegungsgleichungen	50
4.2.4	Reibung	51
4.2.5	Bauraumbegrenzung	52
4.2.6	Modellparameter	53
5	Konzept- und Reglerentwicklung für ein Tilgersystem	55
5.1	Idealer Tilger	55
5.2	Passiver Tilger	58
5.3	Reglerentwurfsverfahren	66
5.3.1	LQR- und H_{∞} -Regelung	66
5.3.2	Advanced Control Design-Regelung	68
5.3.3	Modellreduktion für den Reglerentwurf	70
5.4	Aktiver Tilger mit schnell verstellbarem Dämpfer	74
5.5	Aktiver Tilger mit hydraulischem Differentialzylinder	78
5.6	Sensoren	81
6	Analyse	83
6.1	Vergleich der Systemkonzepte im Viertelfahrzeugmodell	83
6.1.1	Plattenstoß	85
6.1.2	Komfortbewertungsstrecke	88
6.1.3	Alternative aktive Aufbaufederung für einen aktiven Tilger	93
6.1.4	Parameterstudie zum Energiebedarf eines aktiven Tilgers	100
6.1.5	Modell- und Konzeptabsicherung	102
6.2	Auswirkungen im Gesamtfahrzeugmodell	104

6.2.1	Schwingungsverhalten der Räder	105
6.2.2	Optimale Ausrichtung der Tilgerwirkachse.....	109
6.2.3	Handling-Manöver.....	111
6.2.4	Komfortbewertungsstrecke	113
6.2.5	Reifenhöhenschlag	116
6.2.6	Hinterachstrampeln.....	118
7	Konstruktionsbeispiele eines aktiven Tilgers im Fahrwerk	121
7.1	Radnabenmotor als Tilgermasse.....	121
7.2	Bremssattel als Tilgermasse	122
7.2.1	Vorderachse.....	124
7.2.2	Hinterachse.....	129
8	Zusammenfassung und Ausblick	134
9	Formelzeichen und Indizes	137
10	Literatur.....	142
11	Anhang.....	149
11.1	Koeffizienten der Übertragungsfunktion - Straßenhöhe zu Tilgerweg	149
11.2	Koeffizienten der Übertragungsfunktion - SVD-Tilger	149
11.3	Koeffizienten der Übertragungsfunktion - AWC-Tilger	151