

Georg Rill

Simulation von Kraftfahrzeugen

Mit 57 Bildern



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
11	Anforderungen	1
12	Methoden	2
2	Grundlagen	5
2.1	Bewegungsgleichungen	5
2.1.1	Allgemeines	5
2.1.2	Kinematik	5
2.1.2	Jourdainsches Prinzip	8
2.1.3	Beispiel	10
2.2	Relativkinematik	15
2.2.1	Lage	15
2.2.2	Geschwindigkeit	16
2.2.3	Beschleunigungen	18
2.3	Verallgemeinerte Geschwindigkeiten	20
2.3.1	Bezugssystem	20
-	2.3.2 Teilkörper mit kinematischen Bindungen	22
	2.3.3 Freie Teilkörper	24
2.*4.	Richtungsvektoren und Restbeschleunigungen	28
	2.4.1 Teilkörper mit Bindungen zum Aufbau	28
}	2.4.2 Teilkörper ohne kinematische Bindungen	31
2.5.	Kräfte und Momente	33
2.5.1	Massenkräfte und Momente	33
2.5.1.1	Teilkörper	33
2.5.1.2	Rad und Radkörper	35

2.5.2	Feder-/Dämpferelemente	•	38
2.5.2.1	Parallel geschaltete Elemente		38
2.5.2.2	Feder und Dämpfer in Reihe		41
2.5.3	Reifen	']\$••	42
2.5.3.1	Kraftwirkung im Latsch		42
2.5.3.2	Kontaktpunkt		43
2.5.3.3	Kontaktpunktsgeschwindigkeiten		46
2.5.3.4	Radlast		48
2.6.	Ein "easy to use" Reifenmodell		50
2.6.1	Modellanforderungen		50
2.6.2	Vorüberlegungen		51
2.6.2.1	Umfangskraft und Längsschlupf		51
2.6.2.2	Querschlupf, Seitenkraft und Reifenrückstellmoment		55
2.6.3	Approximation von Umfangs- und Seitenkräften		58
2.6.3.1	Summenschlupf		58
2.6.3.2	Linearisierter Radlast- und Reibwerteinfluß		60
2.6.3.3	Sturzeinfluß		62
2.6.3.4	Nichtlinearer Radlasteinfluß		64
2.6.4	Approximation der Reifenmomente		66
2.6.4.1	Rückstellmoment	-	66
2.6.4.2	Bohrmoment "		68
2.6.4.3	Kippmoment		72
2.6.4.4	Rollwiderstand	,	73
2.6.5	Reifen-Dynamik 1. Ordnung		74
3	Fahrzeugmodell		80
3.1.	Struktur		80
3.1.1	Körper und Koordinatensysteme		80
3.1.2	Bewegungsmöglichkeiten		83
3.1.3	Richtungsvektoren der Translation und Rotation		87

Inhaltsverzeichnis

3.1.4	Eingeprägte Kräfte und Momente	92
3.2	Bewegungsgleichungen	96
3.2.1	Massenmatrix	96
3.2.2	Rechte Seite	101
3.2.2.1	Aufspaltung in Teilvektoren	101
3.2.2.2	Aufbau, Radkörper und Rad	101
3.2.2.3	Vollständige Belegung	105
3.2.3	Entkopplung der Radeigendrehung	107
3.3	Radaufhängungen	109
3.3.1	Schräglagerachse	109
3.3.1.1	Kinematik	109
3.3.1.2	Kräfte	111
3.3.2	Feder-/Dämpferachse	114
3.3.2.1	Lagebeschreibung	114
3.3.2.2	Geschwindigkeiten	118
3.3.2.3	Kräfte	122
3.3.3	Beliebige Radaufhängung	125
3.3.3.1	Allgemeines/	125
3.3.3.2	Kinematik einer Raumlei	127
3.3.3.3	Elastisches Modell einer	131
3.4	Teil-Modelle	135
3.4.1	Lenkung	135
3.4.1.1	Minimal-Modell	135
3.4.1.2	Erweitertes Modell	138
3.4.1.3	Reibung	139
3.4.2	Antriebsstrang	143
3.4.2.1	Modellaufbau	143
3.4.2.2	Differentialgetriebe	145
3.4.2.3	Bewegungsgleichungen	148
3.4.2.4	Momente	150

4	Numerische Integration		154
4.1	Differentialgleichungen		154
4.1.1	Struktur		154
4.1.2	Auswahl eines geeigneten Integrationsverfahrens		155
4.2	Teilimplizites Verfahren 1. Ordnung		158
4.2.1	Algorithmus		158
4.3	Funktionalmatrizen	*	163
4.3.1	Teilmodell Lenkung		163
4.3.2	Teilmodell Antriebsstrang		168
4.3.3	Gesamtfahrzeug		177
4.4	Simulationsbeispiele		185
4.4.1	Fahrzeugparameter	-	185
4.4.2	Stationäres Fahrverhalten		186
4.4.3	Radblockieren		189
4.4.4	Einfluß der Rechenschrittweite		194
	Literaturverzeichnis		197
	Sachwortverzeichnis		199