

**Auslegungs- und Optimierungswerkzeuge
für die effiziente Fahrwerkentwicklung**

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

vorgelegt von

Ingo Albers
aus Lingen (Ems)

Berichter:

Universitätsprofessor Dr.-Ing. H. Wallentowitz
Universitätsprofessor Dr.-Ing. J. Feldhusen

Inhalt

1	Einleitung	9
1.1	Einsatz von Simulationen im Fahrwerkentwicklungsprozess.....	13
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise.....	16
2	Grundlagen	18
2.1	Bedeutung der Achskinematik in der Fahrdynamik	18
2.2	Klassifizierung von Achssystemen	21
2.3	Kennwerte der Achskinematik.....	23
2.4	Erforderliche Freiheitsgrade einer Radaufhängung.....	28
2.5	Geschwindigkeitszustand des Radträgers.....	29
2.5.1	Berechnung der Radstellungswinkel Sturz und Spur.....	32
2.5.2	Wankpolberechnung.....	32
2.6	Der ABE-Kern: Ermittlung des Geschwindigkeitszustands.....	33
2.6.1	Herleitung des ABE-Kerns eines Radaufhängungssystems	36
2.7	Lösung und Einbettung des ABE-Kerns	43
2.8	Literaturrecherche zur optimalen Achskinematik.....	45
3	Die Berechnungsmodule im Gesamtkontext der Vorentwicklung	50
3.1	Modul: Analyse Starrkinematik ABE.....	51
3.2	Modul: Analyse (Elasto)-Kinematik mittels ADAMS-DoE	52
3.3	Modul: Gelenkwinkelanalyse	53
3.4	Modul: Toleranz- und Sensitivitätsanalyse	53
3.5	Modul: Sollkurvengenerator.....	56
3.6	Module zur Optimierung OPT	58

4	Beschreibung der einzelnen analytischen Berechnungsmodule.....	61
4.1	Starrkinematikanalyse mit ABE	61
4.1.1	Eingabemaske	61
4.1.2	Import- und Exportfunktion	65
4.1.3	Plausibilisierung der Radstellungskennwerte.....	65
4.1.4	Koordinatentransformation	67
4.1.5	Starten und Steuerung der ABE Berechnung.....	68
4.1.6	Datenausgabe und Visualisierung	68
4.1.7	Beispielrechnung mit ABE	72
4.2	Gelenkwinkelanalyse.....	73
4.2.1	Gelenkwinkeldarstellung	75
4.2.2	Bewegungsablauf der Radaufhängung.....	76
4.2.3	Mathematische Voraussetzungen zur Gelenkwinkelanalyse	77
4.2.4	Besetzung der Koordinatensysteme	78
4.2.5	Beschreibung der relevanten Körperrotationen	79
4.2.6	Lenkerbewegung beziehungsweise Lenkerrotation	81
4.2.7	Ergebnisdarstellung	89
4.2.8	Ergebnisbeispiel und Beurteilung	90
4.3	Sensibilitäts- und Toleranzanalyse.....	91
4.3.1	Kinematische Ausgangslage nach Toleranzbeaufschlagung.....	96
4.3.2	Berechnung der toleranzbehafteten Kinematik.....	102
4.3.3	Bewertung und Darstellung der Toleranzuntersuchung.....	103
5	Optimierung in der Fahrwerkvorentwicklung.....	108
5.1	Verwendete Optimierungswerkzeuge und Implementierung	110
5.1.1	Beispielhafte Anwendung des EXCEL-Solvers im Arbeitsblatt	111
5.1.2	Kopplung des EXCEL-Solvers mit der VBA-Umgebung	113
5.2	Optimierung der Starr- und Elastokinematik.....	116
5.2.1	Starrkinematische Optimierung über analytischen ABE Ansatz	116

5.2.2	Elastokinematische Optimierung über ADAMS Ersatzmodell.....	119
6	Praktische Beispiele und Anwendungen.....	126
6.1	Veränderung des Bauraums bei konstanter Kinematikanforderung.....	126
6.2	Änderung der Wankpolhöhe	128
6.3	Sturzverstellung Audi A4 Rennfahrzeug.....	128
6.4	Parameteridentifikation Opel Astra Vorderachse	131
6.5	Ergebnisvalidierung mittels ADAMS und realen Versuchsdaten	131
7	Ausblick	136
8	Zusammenfassung	139
9	Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes.....	142
10	Schrifttum.....	146
11	Anhang	150
11.1	Weitere Kennwertberechnungen.....	150
11.2	Weitere Gleichungssysteme des ABE-Kerns.....	157
11.3	Literaturrecherche Fahrzeugkennwerte	161
11.4	Einstellwerte und Optionen für den EXCEL Solver	167
11.5	Leistungsdaten Arbeits- und Programmierumgebung.....	170
11.6	Programmumgebung und Programmiersprache	170
11.7	Kinematikpunkte des vermessenen Audi A6.....	172