

Radarsysteme zur automatischen Abstandsregelung in Automobilen

**Von der Gemeinsamen Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig**

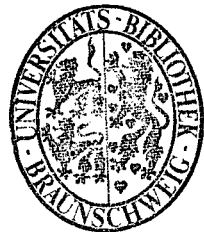
zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von:

**Dipl.-Ing. R. Mende
aus Freiberg/Sa.**



Eingereicht am:

25. Januar 1999

Mündliche Prüfung am:

22. Juli 1999

Berichterstatter:

Prof. Dr. rer. nat. H. Rohling

Mitberichterstatter:

Prof. Dr.-Ing. W. Schumacher

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	5
2	Radarsensoren im Automobil.....	7
2.1	Einsatzgebiete und Anforderungen.....	7
2.1.1	Frequenzbereich 76-77GHz.....	7
2.1.2	Frequenzbereich 24-24.250GHz.....	8
2.2	Spezifikation von Systemanforderungen für verschiedene Einsatzfälle.....	10
2.2.1	Definitionen, Begriffsbestimmung.....	10
2.2.2	Koordinatensystem.....	11
2.2.3	Nahbereich.....	13
2.2.4	Fernbereich.....	14
2.3	Aufbau typischer Radarsysteme.....	15
3	Radarmessverfahren und Signalverarbeitung.....	20
3.1	Puls-Doppler-Radar.....	22
3.1.1	Prinzip.....	22
3.1.2	Kenngößen des Sendesignals.....	22
3.1.3	Aufbau und Signalverarbeitung.....	24
3.2	Linear-FMCW-Radar.....	29
3.2.1	Prinzip.....	29
3.2.2	Kenngößen.....	32
3.2.3	Signalverarbeitung.....	35
3.3	Schrittweise frequenzkodierte FMCW-Radar.....	38
3.3.1	Unterschiede zu kontinuierlichen Modulationsverfahren.....	38
3.3.2	Eigenschaften der schrittweisen Modulation.....	38
3.3.3	Übersicht.....	39
3.3.4	Kenngößen des Sendesignals.....	41
3.3.5	Signalverarbeitung.....	44
3.3.6	Aufbau ohne Quadraturmischung.....	49
3.4	FSK-Radar.....	51
3.4.1	Prinzip.....	51
3.4.2	Kenngößen des Sendesignals.....	52
3.4.3	Signalverarbeitung.....	54
3.5	Gepulstes FMCW-Radar.....	57
3.5.1	Motivation.....	57
3.5.2	Kombinationsmöglichkeiten von Puls- und FMCW-Betrieb.....	58
3.5.3	Prinzip.....	58
3.5.4	Kenngößen des Sendesignals.....	59
3.5.5	Aufbau und Signalverarbeitung.....	62
3.5.6	Herleitung des Empfangssignals bei beliebiger Frequenzmodulation.....	64
3.5.6.1	Spektrum des kontinuierlichen Empfangssignals.....	64
3.5.6.2	Berücksichtigung der pulsförmigen Gestalt des Empfangssignals.....	66
3.5.7	Dynamik der genutzten Signalleistung.....	69
3.5.8	Betrieb mit FSK-Sendesignal.....	71
3.5.9	Meß- und Simulationsergebnisse.....	73
3.5.10	Regelung der Oszillatorfrequenz.....	76
3.6	Lösung häufiger Problemstellungen mit Mitteln der digitalen Signalverarbeitung.....	80
3.6.1	Orthogonalitätsfehler bei Quadraturabtastung.....	80
3.6.1.1	Ursachen.....	80
3.6.1.2	Möglichkeiten der digitalen Korrektur.....	81
3.6.2	Nichtlinearer Frequenzgang der Oszillatoren.....	84
4	Nachgeordnete Signalverarbeitung.....	92
4.1.1	Tracking.....	93
4.1.2	Situationsanalyse.....	96
4.1.3	Kurvenalgorithmus und Auswahl des relevanten Objektes.....	97
5	Praktische Meßergebnisse mit einem Versuchsfahrzeug.....	98
5.1	Aufbau des Testfahrzeuges.....	98
5.2	Implementierter Radarsensor.....	99
5.3	Meßergebnisse.....	100
5.3.1	Empfindlichkeit und Dynamik.....	101
5.3.2	Detektionsalgorithmen.....	101

5.3.3	Nachgeordnete Signalverarbeitung	103
5.3.4	Abbildungen	105
5.3.5	Fazit	120
6	Literaturverzeichnis	122
7	Abbildungsverzeichnis	125
8	Tabellenverzeichnis	127