



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Radarsensorik im Automobil	2
1.2	Zielsetzung und Aufbau dieser Arbeit	5
2	Grundlagen integrierter Millimeterwellenradare	7
2.1	Radargleichung für Punktziele	8
2.1.1	Radarrückstreuquerschnitt	8
2.1.2	Radargleichung für verteilte Objekte	9
2.2	Radararchitekturen	10
2.2.1	Bistatisches Radar	10
2.2.2	Monostatisches Radar	11
2.2.3	Multistatisches Radar	11
2.2.4	MIMO-Radar	12
	Generalisiertes MIMO-Signalmodell und virtuelle Apertur	13
2.3	Antennen und Strahlformung	15
2.3.1	Gewinn und Richtfaktor	15
2.3.2	Aperturstrahler	16
2.3.3	Dielektrische Linsen als strahlformende Elemente	17
3	Signalverarbeitung, Wellenformen und Parameterschätzung	21
3.1	Wellenformen zur Entfernungs- und Geschwindigkeitsschätzung	22
3.1.1	LFMCW	22
3.1.2	Matching	24
3.1.3	Chirp-Sequence	25
	Grenzen und Limitierungen	27
3.2	Grundlagen der Winkelschätzung	28
3.2.1	Arrayanordnung und Signalmodell	29
3.2.2	Kovarianzmatrix	30
3.2.3	Ordnungs- und Signalzahlschätzung	31
3.2.4	Bestimmung der Einfallsrichtung	33
	Amplituden-Monopuls-Verfahren	34
	Beamforming	35
	Unterraumverfahren – MUSIC	36



Maximum-Likelihood-Verfahren	39
3.2.5 Korrelation von Signalen	41
4 Architektur und Demonstratorsystem für ein MIMO-Radar bei 77 GHz	43
4.1 Linsenbasiertes MIMO-Radarkonzept	43
4.2 Systemkonzept	50
4.3 Radar-TRX-MMIC	52
4.4 LO-Signal-Erzeugung	53
4.4.1 LO-Signalstabilisierung und -modulation	54
4.5 Antennensystem	57
4.5.1 Primärer Speisestrahler	58
4.5.2 Auslegung des Strahlformungssystems	59
4.5.3 Kombinierte Sendediagramme	61
4.5.4 Antennensubsystem-Charakterisierung	64
4.6 Basisbandsignalaufbereitung	66
4.7 Analog-Digital-Wandlung	68
4.8 Digitale Steuerungselektronik	68
4.9 Signalverarbeitung	69
4.10 Radarzielsimulator	72
4.10.1 Systemkonzept	73
4.10.2 Millimeterwellen-Frontend	74
4.10.3 Basisbandverarbeitung	74
4.10.4 Exemplarische Messungen	75
Ordstrennfähigkeit	77
Geschwindigkeitstrennfähigkeit	77
5 Messergebnisse und Charakterisierung des Demonstratorsystems	79
5.1 Messaufbau zur Winkelcharakterisierung	79
5.2 Zweiwege-Antennendiagramm-Messung	80
5.3 Beamzahlbetrachtung und Mehrzielfähigkeit	84
5.4 Winkeltrennfähigkeit	85
5.5 Arrayeindeutigkeit	88
5.6 Winkelgenauigkeit und Cramér-Rao-Grenze	90
5.7 Winkelschätzung in Elevation und Azimut	92



5.8	Messungen realer Zielszenarien	93
5.8.1	Mehrziel-Szenarien	95
5.9	Vergleich mit hochauflösenden Unterraum-Winkelschätzverfahren am Beispiel von MUSIC	97
6	Zusammenfassung und Diskussion	101
	Literaturverzeichnis	105