



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Radarsensorik im Automobil . . . . .	2
1.2	Zielsetzung und Aufbau dieser Arbeit . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Grundlagen integrierter Millimeterwellenradare</b>	<b>7</b>
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
<b>3</b>	<b>Signalverarbeitung, Wellenformen und Parameterschätzung</b>	<b>21</b>
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
<b>4 Architektur und Demonstratorsystem für ein MIMO-Radar bei 77 GHz</b>	<b>43</b>
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
<b>5 Messergebnisse und Charakterisierung des Demonstratorsystems</b>	<b>79</b>
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
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Diskussion</b>	<b>101</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>105</b>