



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Automobile Umfeld . . . . .	1
1.2	Aufgabenstellung . . . . .	2
1.3	Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Radarsensoren für automobiler Anwendungen</b>	<b>5</b>
2.1	Entwicklung der automobiler Radartechnik . . . . .	5
2.2	Frequenzzulassung . . . . .	9
2.3	Radarbasierte automobiler Funktionen . . . . .	11
2.3.1	Komfortfunktionen . . . . .	13
2.3.2	Sicherheitsfunktionen . . . . .	13
2.3.3	Zukunftsweisende Sicherheits- und Komfortfunktionen . . . . .	14
2.3.4	Sensorsichtbereich . . . . .	16
2.3.5	Übersicht automobiler Radarsensoren . . . . .	17
2.4	Radarkenngrößen . . . . .	18
2.4.1	Sensor-Koordinatensystem . . . . .	19
2.4.2	Zielauflösung und Zieltrennfähigkeit . . . . .	20
2.4.3	Beeinflussung der Entfernungstrennfähigkeit . . . . .	22
2.4.4	Messgenauigkeit . . . . .	24
2.5	FMCW-Radarsensoren . . . . .	25
2.5.1	Basisbandsignal einer Frequenzrampe . . . . .	27
2.5.2	Modulationsvarianten . . . . .	30
2.5.3	Analytische Beschreibung des Schnelle-Rampen-Verfahrens . . . . .	34
2.6	Winkelabbildungsverfahren . . . . .	39
<b>3</b>	<b>Rückstreuungseigenschaften von Fahrzeugen</b>	<b>43</b>
3.1	Streuzentrenüberlagerung . . . . .	43
3.1.1	Einfluss des Frequenzhubs auf die Amplitudenfluktuation . . . . .	45
3.1.2	Amplitudenfluktuation eines bewegten Fahrzeugs . . . . .	48
3.2	Verfahren zur Streuzentrenlokalisierung . . . . .	49
3.2.1	Simulative Verfahren . . . . .	50
3.2.2	Messtechnische Verfahren . . . . .	50
3.3	SAR-Messverfahren zur Streuzentrenlokalisierung . . . . .	53



3.3.1	Beschreibung und Voraussetzung der SAR-Prozessierung . . . . .	53
3.3.2	SAR-Messaufbau und Messdatenauswertung . . . . .	60
3.3.3	2D-Streuzentrenposition am Fahrzeug . . . . .	63
3.3.4	Einfluss der Sendefrequenz und des Frequenzhubs . . . . .	67
3.3.5	3D-Streuzentrenanalyse . . . . .	69
3.4	Gegenüberstellung Simulation und Messung . . . . .	71
3.5	Erkenntnisse aus den Streuzentrenuntersuchungen . . . . .	73
<b>4</b>	<b>Kontursignaturen von Messobjekten</b>	<b>75</b>
4.1	Messaufbau . . . . .	75
4.2	Umgebungserfassung des Referenzszenarios . . . . .	76
4.3	Kontursignatureinflüsse beim Fahrzeug . . . . .	78
4.3.1	Entfernungsabhängige Zellenaufweitung . . . . .	78
4.3.2	Fahrzeugorientierung . . . . .	79
4.3.3	Elevationswinkel . . . . .	82
4.3.4	Vollpolarimetrische Konturerfassung . . . . .	83
4.3.5	Objektausdehnung . . . . .	85
4.4	Wechselwirkung der Systemeinflüsse auf die Kontursignatur . . . . .	87
<b>5</b>	<b>Personen in komplexen Verkehrsszenarien</b>	<b>89</b>
5.1	Amplitudenfluktuation stehender Objekte . . . . .	89
5.2	Analyse der Zielsignatur eines stehenden Fußgängers . . . . .	91
5.2.1	Messaufbau zur Konturerfassung . . . . .	91
5.2.2	Einfluss des Frequenzhubs auf die Konturerfassung . . . . .	93
5.2.3	Einfluss der Polarisation . . . . .	94
5.2.4	Einfluss der Kleidung . . . . .	96
5.3	Amplitudenfluktuation bewegter Objekte . . . . .	98
5.4	Erkenntnisse aus den Reflektivitätsuntersuchungen . . . . .	101
<b>6</b>	<b>Verfahren zur Verbesserung der Auflösung</b>	<b>103</b>
6.1	Modellgestützte parametrische Spektralschätzung . . . . .	103
6.2	AR-Modellierung eines Messsignals . . . . .	105
6.3	Lineare Prädiktion . . . . .	107
6.4	Erweiterung der Messdatenfolge . . . . .	112
6.5	Verbesserung des Auflösungsvermögens im Mehrzielszenario . . . . .	115
6.5.1	Steigerung der Entfernungsauflösung . . . . .	115
6.5.2	Trennfähigkeit in Entfernung und Geschwindigkeit . . . . .	117
<b>7</b>	<b>Geschwindigkeitssignatur langsam bewegter Objekte</b>	<b>119</b>
7.1	Beschreibung des Bewegungsablaufs einer Person . . . . .	119
7.2	Mikro-Doppler-Signatur ( $\mu$ D-Signatur) . . . . .	120



---

7.2.1	$\mu$ D-Signatur von Person und Fahrzeug . . . . .	121
7.2.2	Verbesserung der $\mu$ D-Signatur einer Person . . . . .	124
7.3	Adaptive Hochauflösung . . . . .	124
7.3.1	Einfluss des Frequenzhubs auf die $\mu$ D-Signatur . . . . .	126
7.3.2	Einfluss der Bewegungsgeschwindigkeit . . . . .	127
7.3.3	Einfluss der Messobjekte auf die $\mu$ D-Signatur . . . . .	129
7.4	Unterscheidung der Objektkategorie . . . . .	130
<b>8</b>	<b>Anforderungen an zukünftige Sensoren</b>	<b>133</b>
8.1	Systemleistungsfähigkeit abhängig des Frequenzhubs . . . . .	133
8.2	Sensoren für Multifunktionsanwendungen . . . . .	134
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>139</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>143</b>
A.1	Einwege-Antennendiagramm der Messantennen . . . . .	143
A.2	Messsystemkonfiguration . . . . .	144
A.2.1	Einstellparameter Amplitudenfluktuation . . . . .	145
A.2.2	Systemkonfiguration SAR . . . . .	145
A.2.3	Systemkonfiguration räumliche Abtastung . . . . .	146
A.2.4	Systemkonfiguration Personensignatur und langsam be- wegte Objekte . . . . .	148
A.3	Ergänzende Ergebnisse zur Fahrzeugkonturuntersuchung . . . . .	149
A.3.1	Streuzentrenpositionen am Beispiel smart fortwo mit SAR	149
A.3.2	Einfluss des Frequenzhubs . . . . .	149
A.4	Dynamische Detektionsschwelle . . . . .	153
A.4.1	Falschalarm- und Detektionswahrscheinlichkeit . . . . .	154
A.4.2	Schema der adaptiven Schwellwertberechnung (CFAR) . .	154
A.4.3	Vergleich von CA-, CAGO- und OS-CFAR . . . . .	155