

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation und Umfeld der Arbeit . . . . .	1
1.2	Stand der Technik . . . . .	2
1.3	Aufgabenstellung und Lösungsansatz . . . . .	3
1.4	Gliederung der Arbeit . . . . .	5
<b>2</b>	<b>UWB Funktechniken und Kanalmodelle</b>	<b>7</b>
2.1	Definition der Ultra-Breitbandsysteme . . . . .	7
2.2	Modulationstechniken . . . . .	8
2.2.1	Pulsbasierte Systeme . . . . .	8
2.2.2	MB-OFDM . . . . .	9
2.3	UWB Kommunikations- und Radaranwendungen . . . . .	10
2.4	Ansätze zur Kanalmodellierung für UWB . . . . .	10
2.4.1	Stochastische Kanalmodelle . . . . .	11
2.4.2	Deterministische Kanalmodelle . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Charakterisierung des Funkkanals</b>	<b>15</b>
3.1	Übertragungsfunktion und Kanalimpulsantwort . . . . .	15
3.1.1	Ungerichteter Funkkanal . . . . .	16
3.1.2	Gerichteter Ausbreitungskanal . . . . .	19
3.2	Charakteristische Kennfunktionen und Kenngrößen . . . . .	19
3.2.1	Kenngrößen der Frequenzselektivität . . . . .	20
3.2.2	Kenngrößen der Richtungsselektivität . . . . .	21
3.2.3	Kenngrößen der Zeitvarianz . . . . .	22
3.3	Beschreibung und Kenngrößen eines MIMO-Kanals . . . . .	24
3.3.1	MIMO-Systembeschreibung . . . . .	24
3.3.2	Kenngrößen eines MIMO-Kanals . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Richtungsaufgelöste Kanalmessungen</b>	<b>27</b>
4.1	Methoden zur breitbandigen Kanalmessung . . . . .	27
4.2	Schätzung der richtungsaufgelösten Kanäle . . . . .	28
4.2.1	Rotationsmethode . . . . .	30

4.2.2	Sensor-CLEAN Schätzverfahren	30
4.2.3	Bestimmung der optimalen Arraykonfiguration	32
4.2.4	Verifikation der Schätzmethode anhand von Ray-Tracing Simulationen	33
4.3	Messsystem	37
4.4	Szenarien	39
4.5	Vergleich zwischen Messungen und Ray-Tracing Simulationen	41
4.5.1	Verwendete Metriken	42
4.5.2	Vergleichspunkte	43
4.5.3	Vergleich von Leistungsverzögerungsspektren und Leistungswinkelspektren	44
4.5.4	Vergleich von Kanalkenngrößen	45
4.6	Zusammenfassung	48
<b>5</b>	<b>Hybrides Ray-Tracing / FDTD Modell</b>	<b>49</b>
5.1	Berechnung des Streuverhaltens kleiner Objekte	49
5.1.1	Grundlagen der Finite-Differenzen Methode	50
5.1.2	Grenzbedingungen	52
5.1.3	Anregung	53
5.1.4	Berechnung des gestreuten Fernfelds	54
5.1.5	Verifikation der FDTD-Implementierung	56
5.2	Integration der FDTD Berechnung in die Ray-Tracing Simulationssoftware	57
5.2.1	Implementierung der Punktstreuer in die Ray-Tracing Software	57
5.2.2	Bestimmung des Gültigkeitsbereiches	59
5.3	Verifikation des hybriden Modells	62
5.4	Anwendungen des hybriden Modells	64
5.4.1	Design von Kommunikationssystemen	64
5.4.2	Design von bildgebenden Systemen	66
5.5	Zusammenfassung	67
<b>6</b>	<b>Deterministisch-stochastisches Kanalmodell</b>	<b>69</b>
6.1	Anforderungen an das neue Kanalmodell	69
6.2	Ansätze zur Modellierung der diffusen Streuung	71
6.3	Untersuchung der Pfadherkunft	72
6.4	Modellprinzip	74
6.4.1	Modellierung von einfachen Streuprozessen	74
6.4.2	Modellierung von mehrfachen Streuprozessen	76
6.5	Ableitung der Modellparameter	77
6.5.1	Bestimmung des Suchbereiches	78

6.5.2	Bestimmung der Interaktionsordnung zur Platzierung der Streupunkte . . . . .	81
6.5.3	Analyse des Einflusses der Modellparameter auf die Kanaleigenschaften . . . . .	83
6.5.4	Wahl der Parameter . . . . .	86
6.5.5	Kenngößenstreuung durch statistische Verteilung . . . . .	87
6.6	Verifikation . . . . .	89
6.7	Zusammenfassung und Fazit . . . . .	94
<b>7</b>	<b>Ermittlung von Design-Kriterien für Antennenarrays in MIMO-UWB-Systemen</b>	<b>97</b>
7.1	Systemsimulationen eines MIMO-MB-OFDM Systems . . . . .	98
7.1.1	MB-OFDM Standard . . . . .	98
7.1.2	V-BLAST Verfahren . . . . .	100
7.1.3	Kombination von MIMO und MB-OFDM . . . . .	102
7.1.4	Systemmodell . . . . .	102
7.1.5	Anwendbarkeit des hybriden Modells zur Systemsimulation . . . . .	104
7.2	Ermittlung der optimalen Arraykonfigurationen . . . . .	105
7.2.1	Anzahl der Antennen . . . . .	106
7.2.2	Bestimmung des relevanten SNR-Bereiches . . . . .	108
7.2.3	Arraylänge und Ausrichtung . . . . .	109
7.2.4	Richtcharakteristik der Antennen . . . . .	111
7.3	Zusammenfassung und Fazit . . . . .	112
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>115</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>119</b>
A.1	Beschreibung der Messantennen . . . . .	119
A.2	Materialparameter . . . . .	122
A.3	Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Kanalkenngrößen . . . . .	123
A.4	Leistungsverzögerungs- und Leistungswinkelspektren für Szenarien 2 und 3	129
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>132</b>