

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 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 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 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 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	Kenngrößenstreuung 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>