



Inhalt

1	Einleitung	1
2	Zielsetzung und Methodik der Arbeit	3
3	Stand der Technik	4
3.1	Drahtlose Übertragungssysteme	4
3.1.1	Maritime Anwendungen drahtloser Übertragungssysteme	6
3.1.2	Rechtliche Betrachtungen und Genehmigungen zur Nutzung von hochfrequenten Spektren	9
3.1.3	Anwendungsbeispiel: Schiffsübergreifendes Netzwerk unter Berücksichtigung der IMO - Forderung Safe - Return - To - Port	10
3.2	Drahtlose Übertragungsstrecken	20
3.3	Zuverlässigkeit einer Übertragungsstrecke unter Berücksichtigung der EMV	22
3.3.1	Kopplungsmechanismen der EMV	23
3.3.2	Exemplarische Messung des Verhaltens von Übertragungssystemen bei der Beaufschlagung mit In – Band - Störungen	28
3.4	Ausbreitung von Funksignalen	33
3.4.1	Freifeldausbreitung	33
3.4.2	Mehrwegeausbreitung von Funksignalen	34
3.4.3	Modelle zur Beschreibung von Kanälen mit Mehrwegeausbreitung	38
4	Antennen	41
4.1	Maxwell - Gleichungen	41
4.2	Antennen als elektromagnetisch strahlungsfähige Gebilde	42
4.2.1	Isotroper Kugelstrahler	43
4.2.2	Hertz'scher Dipol	43
4.2.3	Resonante Dipolantenne	44
4.2.4	Magnetische Antenne	45
4.3	Eigenschaften von Antennen	45
4.3.1	Wirkungsgrad einer Antennenanordnung	45

II



4.3.2	Antennenanpassung, Stehwelle	46
4.3.3	Direktivität einer Antenne	47
4.3.4	Vor - Rück - Verhältnis einer gerichteten Antenne.....	47
4.3.5	Keulenbreite einer gerichteten Antenne	48
4.3.6	Bandbreite einer Antenne	48
4.4	Antennensysteme für die Verwendung an Bord und in Hafengebieten	49
4.4.1	Beeinflussung des Antennendiagramms durch benachbarte metallische Strukturen.....	49
4.4.2	Technische und rechtliche Aspekte der Nutzung von WLAN im 2,4 - GHz - Band zur Kommunikation mit Schiffen	50
5	Vermessung von komplexen Funkausbreitungsumgebungen.....	51
5.1	Messverfahren	52
5.1.1	Messung mittels einzelner Pulse	53
5.1.2	Messung mittels Korrelationsmethode	53
5.1.3	Messung nach der FMCW – Methode	53
5.1.4	Messung im Frequenzbereich mit einem vektoriellen Netzwerkanalysator	54
5.2	Messaufbau.....	54
5.2.1	Kabeldämpfungen für gängige Hochfrequenzkabel.....	55
5.2.2	RF - over - Fibre - System zur Übertragung des Hochfrequenzsignals	55
5.2.3	Aufbau des Gesamtsystems.....	58
5.3	Verarbeitung der Messdaten.....	59
5.3.1	Hamming - Fenster zur Reduzierung der Artefakte der Transformation	60
5.3.2	Auflösung des Messsystems	62
5.4	Messung der Mehrwegeausbreitung in exemplarischen Umgebungen.....	63
5.4.1	Validierung der Messanordnung	63
5.4.2	Messung im Hafengebiet.....	65
5.4.3	Messung in einem Bürogebäude	75
5.4.4	Messung in einer urbanen Umgebung.....	76

III

5.4.5	Messungen auf dem Eurogate - Containerterminal in Hamburg.....	78
6	Nachbildung und Simulation von komplexen Ausbreitungsbedingungen.....	86
6.1	Simulation mittels Ray-Tracing	86
6.1.1	Entwicklung eines Raytracing – Algorithmus	86
6.1.2	Validierung des Verfahrens.....	87
6.1.3	Simulation der Ausbreitungs Umgebung eines exemplarischen Hafengebietes	89
6.2	Nachbildung der Mehrwegeausbreitung mit einer Modenverwirbelungskammer...	89
6.2.1	Umbau der Schirmkabine zur Modenverwirbelungskammer	92
6.2.2	Bestimmung der unteren Grenzfrequenz einer Modenverwirbelungskammer	93
6.2.3	Messung der Güte der Modenverwirbelungskammer	94
6.2.4	Messung der Impulsantworten für unterschiedliche Beladungen der Kammer ...	94
6.2.5	Verwendung der Modenverwirbelungskammer als Kanalsimulator für die Funkausbreitung in Hafengebieten	95
7	Antennenlösungen für zuverlässige Schiff - Land - Kommunikation	100
7.1	Schaltbare Sektorantenne	100
7.1.1	Konzeption	100
7.1.2	Entwicklung	101
7.1.3	Aufbau.....	106
7.1.4	Erprobung.....	109
7.1.5	Ergebnisse	110
7.2	Phased - Array - Antenne	116
7.2.1	Theoretische Grundlagen	117
	Phasenschieber für die Anwendung in Phased - Array - Antennen.....	119
7.2.2	Konzeption	121
7.2.3	Entwicklung	122
7.2.4	Aufbau.....	125
7.3	Alternativen.....	128
8	Frequenzdiversity zur Sicherstellung zuverlässiger Schiff - Land - Verbindungen	130



8.1	Problemstellung.....	130
8.2	Konzeption und Entwicklung.....	131
8.2.1	Verwendete Frequenzbereiche	131
8.2.2	Gegenseitige Beeinflussung der Antennen	133
8.2.3	Kanalzugriffsverfahren.....	134
8.3	Realisierung.....	136
8.4	Ergebnisse	141
9	Verwendung eines drahtlosen Sensornetzwerkes zur Personenlokalisierung.....	144
9.1	Physikalische Prinzipien zur Personenlokalisierung	144
9.1.1	Aktive Verfahren.....	145
9.1.2	Passive Verfahren.....	147
9.2	Entwicklung und Konzeption einer passiven Personenlokalisationslösung	151
9.2.1	Hardware	152
9.2.2	Software	154
9.3	Erprobung und Ergebnisse	157
10	Zusammenfassung und Ausblick	160
11	Literaturverzeichnis.....	163