Inhalt

Abstract vii

Kurzfassung ix

1. Einleitung 3
1.1. Organisation dieser Arbeit . . . 4
1.2. Beiträge zum Stand der Wissenschaft . . . 5

2. Grundlagen 7
2.1. Nomenklatur . . . 8
2.2. Elektromagnetische Feldtheorie . . . 8
2.2.1. Wechselwirkung elektromagnetischer Felder mit Materie . . . 10
2.2.2. Randbedingungen elektromagnetischer Felder . . . 11
2.3. Die elektromagnetische Welle . . . 12
2.3.1. Wellenfunktionen . . . 13
2.3.2. Ebene Wellen . . . 15
2.3.3. Elektromagnetische Wellen in einem Medium . . . 16
2.3.4. Reflexion und Transmission elektromagnetischer Wellen an Materialgrenzen bei senkrechtem Einfall . . . 17
2.3.5. Wellenleiter mit rechteckigem Querschnitt . . . 18
2.3.6. Reduktion auf zweidimensionale Probleme . . . 22
2.4. Streuparameter . . . 23
2.4.1. Streuparameter für Wellenamplituden . . . 25
2.4.2. Streuparameter für Leistungswellen/normierte Wellengrößen . . . 26
2.4.3. Die Unitarität der Streumatrix . . . 27
2.5. Signalflussgraphen . . . 27
2.5.1. Aufbau . . . 28
2.5.2. Mason's Regel . . . 29
2.5.3. Matrix-Methode . . . 33
2.5.4. Interpretation der Ergebnisse und Vergleich zu Mason's Methode . . . 35
2.5.5. Geschlossene Graphen . . . 37
2.5.6. Implementierung . . . 40
2.6. Numerisches Lösen linearer Gleichungssysteme . . . 41
2.6.1. Die **LU**-Zerlegung und ihre Varianten . . . 42
2.6.2. Iteratives Verfeinern der Lösung . . . 43

3. Die Scattering Element Method (SEM) 47
3.1. Historisches (zur klassischen TLM-Methode) . . . 48
3.1.1. Stand der Forschung . . . 51
3.2. Die Elemente der FDSEM . . . 51
3.2.1. Die Wave Sampling Matrix (WSM) . . . 52
3.2.2. Verallgemeinerung des Lösungsansatzes . . . 57
3.2.3. Materialübergänge . . . 60

3.2.4. Die Simulationsgrenze/Boundary . . . 61
3.3. Der (klassische) FDSEM-Algorithmus . . . 63
3.4. Beschreibung der globalen Lösung . . . 63
3.5. Darstellung von Feldverläufen . . . 65
3.6. Beispiel: Ebene Welle vertikaler Einfall . . . 67
3.6.1. Das Simulationsmodell . . . 67
3.6.2. Der Feldverlauf . . . 67
3.6.3. Erläuterung mittels Signalflussgraph . . . 69
3.7. Dispersionsbeziehung im zweidimensionalen FDSEM-Gitter . . . 72
3.7.1. Dispersion im (FD-) SEM-Gitter mit der TLM- und FDTLM . . . 73
3.7.2. Dispersion im FDSEM-Gitter mit der WSM . . . 76
3.8. Beispiel: Lösen rechteckiger Wellenleiter mit der FDSEM . . . 78
3.8.1. Die Randbedingungen und Polarisation . . . 79
3.8.2. Die Berechnung . . . 80
3.8.3. Der Feldverlauf . . . 81
3.8.4. Eigenfrequenzen . . . 85
3.8.5. Ausbreitungskonstante . . . 89

4. Folgerungen aus dem Portformalismus 91

5. FDSEM zum Lösen großskaliger unstrukturierter Simulationsbereiche 93
5.1. Unterteilung des Modells in Teilbereiche (Schritt 1) . . . 95
5.1.1. Vergleich des Speicherbedarfs . . . 96
5.1.2. Strategien zur Aufteilung . . . 99
5.2. Lösen der einzelnen Interface-Matrizen (Schritt 2) . . . 101
5.2.1. Beschreibung des Problems . . . 102
5.2.2. Effizientes Berechnen von $\tilde{\mathbf{F}}$ . . . 103
5.2.3. Quellentransformation . . . 106
5.3. Lösen verkoppelter Interface-Matrizen (Schritt 3) . . . 107
5.4. Berechnung der inneren Ports der einzelnen Teilbereiche (Schritt 4) . . . 107
5.5. Das Preprocessing . . . 108
5.6. Beispiel: Unstrukturiertes FDSEM-Problem . . . 111
5.6.1. Hintergrund . . . 111
5.6.2. Die FDSEM-Simulation . . . 112
5.6.3. FDSEM-Simulation vs. FDTD . . . 116

6. FDSEM zum Lösen großskaliger strukturierter Simulationsbereiche 121
6.1. Modellierung der Antennen . . . 122
6.2. Das strukturierte Simulationsmodell . . . 124
6.3. Ergebnisse . . . 125
6.3.1. Speichernutzung . . . 126
6.3.2. Messung vs. FDSEM-Simulation . . . 127

7. Zusammenfassung und Ausblick 129

8. Appendices 131

Anhang A. Herleitungen 133
A.1. Herleitung k' und k'' . . . 133
A.2. Ebene Welle kleines Modell . . . 134
A.3. Herleitung der FDTLM . . . 135

A.4. Speicher 139

Anhang B. Ergebnisse **141**
B.1. Rechteckhohlleiter U_y 141
B.2. Vivaldi-Antenne 144

Literaturverzeichnis **145**

Veröffentlichungen **151**