

# Inhaltsverzeichnis

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	vii
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Aufbau dieser Arbeit	4
<b>2 Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1 Maxwell-Gleichungen	7
2.1.1 Laplace-Gleichung der Elektrostatik	8
2.1.2 Helmholtz-Gleichung der Elektrodynamik	9
2.2 Methode der finiten Integration (FIT)	10
2.2.1 Diskretisierung der Maxwell-Gleichungen	12
2.2.2 Ränder des Rechengebietes	16
2.2.3 Stabilität, Konsistenz und Konvergenz	17
2.3 Formulierungen der FIT	19
2.3.1 Elektrostatik	19
2.3.2 Zeitbereich	19
2.3.3 Frequenzbereich	20
2.4 Ergebnisse der Zeitbereichsformulierung	21
2.4.1 Diskrete Fourier-Transformation	21
2.4.2 DFT-Monitore und 0D-Zeitbereichslösungen	22
2.4.3 Energiekriterium und Abschneide-Fehler	23
2.4.4 Spektralschätzer	27
2.5 Fehlerbetrachtungen	29
2.5.1 Fehlernormen	29
2.6 Genutzte Software	30
<b>3 Berücksichtigung der lokalen Feldverläufe an geometrischen Materialübergängen</b>	<b>33</b>
3.1 Analytische Betrachtung des Feldverlaufes an Materialkanten	34
3.1.1 Historie	34
3.1.2 Allgemeine Herleitung der singulären Ausdrücke	35
3.1.3 Vereinfachungen für ideale Leiter	39
3.1.4 Dielektrische Kante	41
3.2 Behandlung von Singularitäten an Materialkanten in der FIT	42
3.2.1 Fehler durch Singularitäten in der FIT	42
3.2.2 Feldsingularitäten in klassischen Simulationsmethoden	43
3.2.3 Berücksichtigung von Kantensingularitäten in der FIT	45
3.2.4 Neue Kantenkorrektur als Erweiterung der Standard-Kantenkorrektur	47

3.2.5	Einfluss auf die Simulationsmethode . . . . .	52
3.3	Konvergenzstudien anhand von Beispielen aus der Elektrostatik und von Eigenwertproblemen . . . . .	57
3.3.1	Elektrostatisches Problem, L-förmige Anordnung . . . . .	57
3.3.2	Dynamisches Problem, L-förmige Anordnung . . . . .	60
3.3.3	Dielektrikum, Stoßpunkt von vier Materialgebieten . . . . .	61
3.4	Feldbasierte Materialmittelung in der FIT . . . . .	62
3.4.1	Verschiedene Möglichkeiten der Materialmittelung . . . . .	64
3.4.2	Beispiel ebene Welle . . . . .	65
3.4.3	Beispiel Elektrostatik . . . . .	66
3.5	Fazit . . . . .	68
<b>4</b>	<b>Spektralbasierte Interpolation (SBI)</b>	<b>71</b>
4.1	Standard-Zeitbereichssimulation resonanter Strukturen . . . . .	72
4.2	Die SBI-Methode . . . . .	73
4.2.1	Eingeschwungene Simulation . . . . .	75
4.2.2	Berücksichtigung der Anregung bei schnellem Einschwingverhalten .	78
4.2.3	Sonderbehandlung bei langsamem Einschwingverhalten . . . . .	79
4.3	Erweiterungen der SBI-Methode . . . . .	79
4.3.1	Abschneidefehler bei nicht abgeklungenen Signalen . . . . .	80
4.3.2	Ausgleichsfunktionen für eine Pol-Reduktion . . . . .	81
4.4	Fehlerdefinitionen der SBI . . . . .	82
4.5	Abgrenzung zu anderen Methoden . . . . .	85
4.5.1	Vector-Fitting . . . . .	85
4.5.2	Projektionsbasierte Modellordnungsreduktion (MOR) . . . . .	86
4.6	Beispiele . . . . .	87
4.6.1	Analytisches Zeitsignal . . . . .	87
4.6.2	Rechteckresonator mit verlustbehaftetem Material . . . . .	91
4.7	Fazit . . . . .	99
<b>5</b>	<b>Simulation der elektromagnetischen Felder von flachen dielektrischen Scheiben</b>	<b>103</b>
5.1	Einführung . . . . .	103
5.1.1	Whispering Gallery Moden (WGM) . . . . .	105
5.2	Berechnungsmethoden für die WGM flacher dielektrischer Scheiben . . . .	107
5.2.1	Analytische Näherungslösung . . . . .	108
5.2.2	FIT Eigenwertformulierung in 2.5D . . . . .	109
5.2.3	Automatisierte Bestimmung der Modenordnung . . . . .	111
5.2.4	Zeitbereichsformulierung (3D) für flache dielektrische Scheiben . . .	112
5.3	Methodenvergleich im GHz-Bereich . . . . .	113
5.3.1	Setup . . . . .	114
5.3.2	Ergebnisse . . . . .	115
5.3.3	Details zu der SBI-Lösung . . . . .	117
5.3.4	Vergleich der vollständigen Messdaten zur Rechnung . . . . .	121
5.4	Beispiele aus dem THz-Bereich . . . . .	125
5.4.1	Vierschichtige Scheibe mit $\rho_d = 1.5 \mu\text{m}$ . . . . .	125

---

5.4.2	Dreischichtige Scheibe mit $\rho_d = 50 \mu\text{m}$ . . . . .	128
5.4.3	Gelochte Microdisk . . . . .	131
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>135</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>139</b>
A.1	Lösung des Randwertproblems der L-förmigen Anordnung in der Statik . .	139
A.2	Frequenzbereichsformulierung durch Transformation der Zeitbereichsformulierung . . . . .	142
A.2.1	Zeitbereichsformulierung . . . . .	142
A.2.2	Diskrete Fourier-Transformation . . . . .	143
A.2.3	Diskrete Fourier-Transformation unter Berücksichtigung von Verlusten . . . . .	145
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>147</b>