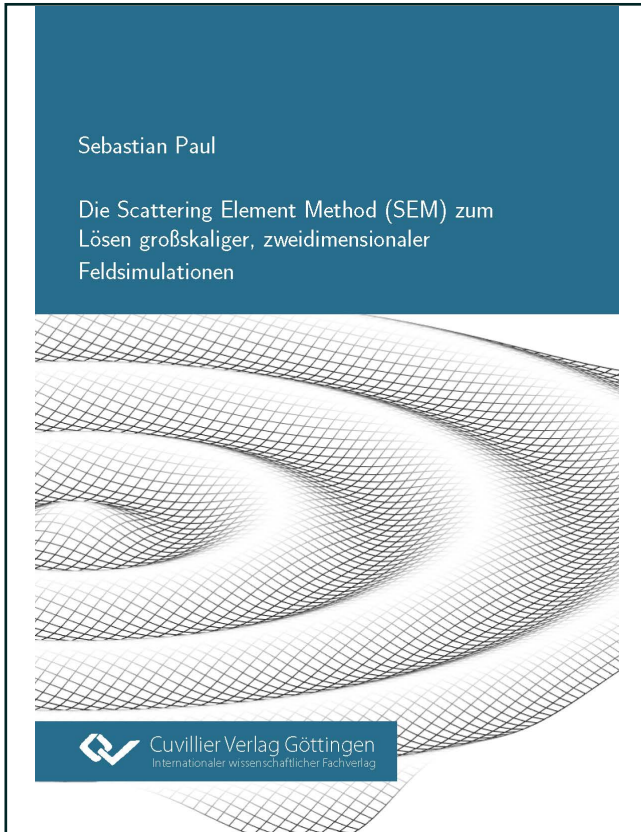




Sebastian Paul (Autor)

## **Die Scattering Element Method (SEM) zum Lösen großskaliger, zweidimensionaler Feldsimulationen**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8754>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhalt

<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>ix</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1. Organisation dieser Arbeit . . . . .	4
1.2. Beiträge zum Stand der Wissenschaft . . . . .	5
<b>2. Grundlagen</b>	<b>7</b>
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 <b>LU</b> -Zerlegung und ihre Varianten . . . . .	42
2.6.2. Iteratives Verfeinern der Lösung . . . . .	43
<b>3. Die Scattering Element Method (SEM)</b>	<b>47</b>
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
<b>4.</b>	<b>Folgerungen aus dem Portformalismus</b>	<b>91</b>
<b>5.</b>	<b>FDSEM zum Lösen großskaliger unstrukturierter Simulationsbereiche</b>	<b>93</b>
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
<b>6.</b>	<b>FDSEM zum Lösen großskaliger strukturierter Simulationsbereiche</b>	<b>121</b>
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
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>129</b>
<b>8.</b>	<b>Appendices</b>	<b>131</b>
<b>Anhang A.</b>	<b>Herleitungen</b>	<b>133</b>
A.1.	Herleitung $k'$ und $k''$ . . . . .	133
A.2.	Ebene Welle kleines Modell . . . . .	134
A.3.	Herleitung der FDTLM . . . . .	135

A.4. Speicher . . . . .	139
<b>Anhang B. Ergebnisse</b>	<b>141</b>
B.1. Rechteckhohleiter $U_y$ . . . . .	141
B.2. Vivaldi-Antenne . . . . .	144
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>145</b>
<b>Veröffentlichungen</b>	<b>151</b>