

# Inhaltsverzeichnis

Liste der meistbenutzten Abkürzungen und Formelzeichen	IX
<b>1 Die Methode der finiten Elemente</b>	<b>1</b>
1.1 Überblick . . . . .	1
1.2 Die Methode der gewichteten Residuen . . . . .	2
1.3 Die schwache Formulierung . . . . .	3
1.4 Diskretisierung mit finiten Elementen . . . . .	5
1.5 Die Galerkin - Methode . . . . .	7
1.5.1 Aufbau des Gleichungssystems . . . . .	8
<b>2 Die Methode der Randelemente</b>	<b>11</b>
2.1 Überblick . . . . .	11
2.2 Der Kirchhoffsche Satz . . . . .	12
2.3 Die Randelementmethode als spezielle Methode der gewichteten Residuen	16
2.4 Diskretisierung mit Randelementen . . . . .	17
2.5 Aufbau des Gleichungssystems . . . . .	19
2.6 Mehrfach zusammenhängende Grundgebiete . . . . .	21
2.7 Unendliche Grundgebiete . . . . .	21
2.8 Berechnung des „Kantenfaktors“ $c$ . . . . .	23
<b>3 Anwendung der Methode der finiten Elemente zur Lösung magneto-</b>	
<b>statischer Probleme</b>	<b>25</b>
3.1 Felder stationärer Ströme in linearen Medien . . . . .	25

3.1.1	Die Erfüllung der Eichbedingung . . . . .	29
3.1.2	Die schwache Formulierung des Problems . . . . .	32
3.1.3	Die Finite - Elemente - Formulierung . . . . .	34
3.2	Felder stationärer Ströme in beliebigen Medien . . . . .	36
3.2.1	Die schwache Formulierung des Problems . . . . .	39
3.2.2	Die Finite - Elemente - Formulierung . . . . .	42
3.3	Iterative Lösungsverfahren . . . . .	44
3.3.1	Das $M(H)$ - Iterationsverfahren . . . . .	45
3.3.2	Das $M(B)$ - Iterationsverfahren . . . . .	48
3.4	Modellierung der magnetischen Materialien . . . . .	50
3.4.1	Lineare Medien . . . . .	50
3.4.2	Nichtlineare Medien . . . . .	51
3.4.3	Hysteresebehaftete Medien . . . . .	52
3.4.3.1	Das skalare Preisach - Modell . . . . .	53
3.4.3.2	Das Vektor - Preisach - Modell . . . . .	60
<b>4</b>	<b>Anwendung der Methode der finiten Elemente zur Lösung von Wirbelstromproblemen</b>	<b>64</b>
4.1	Wirbelstromprobleme in linearen magnetisierbaren Medien . . . . .	64
4.1.1	Die Erfüllung der Eichbedingung . . . . .	67
4.1.2	Die schwache Formulierung des Problems . . . . .	70
4.1.3	Die Finite - Elemente - Formulierung . . . . .	71
4.2	Wirbelstromprobleme in beliebigen magnetisierbaren Medien . . . . .	74
4.2.1	Die schwache Formulierung des Problems . . . . .	78
4.2.2	Die Finite - Elemente - Formulierung . . . . .	79
4.3	Das Euler - Verfahren . . . . .	82
<b>5</b>	<b>Kopplung der Methode der finiten Elemente mit der Randelementmethode</b>	<b>83</b>
5.1	Einleitung . . . . .	83

5.2	Die Kopplung für elektrostatische Probleme . . . . .	84
5.2.1	Die Beschreibung mit finiten Elementen . . . . .	85
5.2.2	Die Beschreibung mit Randelementen . . . . .	87
5.2.3	Berechnung der Matrizen . . . . .	88
5.2.4	Die Kopplung von BEM und FEM . . . . .	90
5.2.5	Mehrere nicht zusammenhängende FEM - Teilgebiete . . . . .	91
5.2.6	Beispiele . . . . .	91
5.3	Die Kopplung für magnetostatische Probleme . . . . .	96
5.3.1	Die Beschreibung mit finiten Elementen . . . . .	96
5.3.2	Die Beschreibung mit Randelementen . . . . .	97
5.3.3	Kopplung von BEM und FEM . . . . .	97
5.3.4	Beispiele für lineare homogene Medien . . . . .	99
5.3.5	Beispiel für ein lineares inhomogenes Medium . . . . .	105
5.3.6	Beispiel für nichtlineare Medien . . . . .	105
5.3.7	Beispiele für ebene Probleme mit hysteresebehafteten Medien . . . . .	108
5.3.8	Beispiel für ein dreidimensionales Problem mit hysteresebehaftetem Medium . . . . .	111
5.4	Die Kopplung für Wirbelstromprobleme . . . . .	112
5.4.1	Ebene Probleme . . . . .	114
5.4.2	Dreidimensionale Probleme . . . . .	120
5.4.2.1	TEAM - Problem 3 . . . . .	123
5.4.2.2	TEAM - Problem 7 . . . . .	126
5.4.2.3	TEAM - Problem 8 . . . . .	129
5.5	Die Kopplung auf endlichem Grundgebiet . . . . .	133
5.6	Nachteile der Kopplung . . . . .	137
5.7	Vergleich mit infinitem Element und „Ballooning - Element“ . . . . .	141
5.7.1	„Ballooning - Elemente“ . . . . .	141
5.7.2	Infinites Element . . . . .	143
6	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen . . . . .	147

**Anhänge**

<b>A Koordinatentransformation bei beliebigen Rändern</b>	<b>149</b>
<b>B Die schwache Formulierung des magnetostatischen Randwertproblems für lineare Medien</b>	<b>151</b>
<b>C Die schwache Formulierung des magnetostatischen Randwertproblems für beliebige Medien</b>	<b>155</b>
<b>D Die Anwendung des Vektor - Preisach - Modells</b>	<b>159</b>
D.1 Das skalare Preisach - Modell . . . . .	159
D.2 Das zweidimensionale Vektor - Preisach - Modell . . . . .	161
D.3 Das dreidimensionale Vektor - Preisach - Modell . . . . .	168
<b>E Koppelbedingungen für magnetostatische Probleme</b>	<b>171</b>
<b>F Analytische Lösung des Beispiels aus Abschnitt 5.3.6 und 5.3.7</b>	<b>173</b>
F.1 Nichtlineares Medium . . . . .	175
F.2 Medium mit Hysterese . . . . .	175
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>177</b>