

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	ix
Konstanten und Symbole	xi
Abkürzungsverzeichnis	xiii
Kurzfassung	1
Danksagung	3
1 Einleitung	5
1.1 Plasmajets	5
1.2 Leistungseinkopplung in technischen Plasmen	6
1.2.1 Kapazitiv gekoppelte Plasmen	6
1.2.2 Induktiv gekoppelte Plasmen	8
1.2.3 Moden	9
1.2.4 E-Mode	9
1.2.5 H-Mode	9
1.2.6 Hybridmode	9
1.2.7 Modenübergänge und Hysterese	10
1.2.8 Realisierung eines kompakten ICP-Jets	11
1.3 Ziele und Aufbau dieser Arbeit	13
2 Grundlagen der Plasmamodellierung	15
2.1 Kinetische Beschreibung	15
2.2 Übergang zum Fluidbild	20
2.3 Modell eines kalten Plasmas	22
2.4 Zeitharmonische Beschreibung elektromagnetischer Felder	24
2.5 Globale Plasmamodelle	25
3 Aufbau und Idealisierung des MMWICPs	29
3.1 Aufbau des MMWICPs	29
3.2 Skalenanalyse und idealisierte Beschreibung	34
3.2.1 Zeitskalen	34
3.2.2 Längenskalen	34
3.2.3 Idealisierungen	35
3.3 Der MMWICP im Ersatzschaltbild	36
3.4 Zusammenfassung des Kapitels	38

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	ix
Konstanten und Symbole	xi
Abkürzungsverzeichnis	xiii
Kurzfassung	1
Danksagung	3
1 Einleitung	5
1.1 Plasmajets	5
1.2 Leistungseinkopplung in technischen Plasmen	6
1.2.1 Kapazitiv gekoppelte Plasmen	6
1.2.2 Induktiv gekoppelte Plasmen	8
1.2.3 Moden	9
1.2.4 E-Mode	9
1.2.5 H-Mode	9
1.2.6 Hybridmode	9
1.2.7 Modenübergänge und Hysterese	10
1.2.8 Realisierung eines kompakten ICP-Jets	11
1.3 Ziele und Aufbau dieser Arbeit	13
2 Grundlagen der Plasmamodellierung	15
2.1 Kinetische Beschreibung	15
2.2 Übergang zum Fluidbild	20
2.3 Modell eines kalten Plasmas	22
2.4 Zeitharmonische Beschreibung elektromagnetischer Felder	24
2.5 Globale Plasmamodelle	25
3 Aufbau und Idealisierung des MMWICPs	29
3.1 Aufbau des MMWICPs	29
3.2 Skalenanalyse und idealisierte Beschreibung	34
3.2.1 Zeitskalen	34
3.2.2 Längenskalen	34
3.2.3 Idealisierungen	35
3.3 Der MMWICP im Ersatzschaltbild	36
3.4 Zusammenfassung des Kapitels	38

4	Elektromagnetisches Modell eines Teiljets	39
4.1	Lösung der Maxwellgleichungen	39
4.2	Herleitung der Plasmaadmittanz	46
4.3	Elektromagnetische Leistungsdichte	50
4.4	Zusammenfassung des Kapitels	52
5	Der MMWICP im Betrieb mit Argon	53
5.1	Plasmamodell für Argon	53
5.2	Kopplung der beiden Teilmodelle	56
5.2.1	Stabilität der Gleichgewichtspunkte	56
5.3	Einsichten in die Dynamik des Systems	61
5.4	Zusammenfassung des Kapitels	64
6	Der MMWICP im Betrieb mit Stickstoff	65
6.1	Globales Modell eines Stickstoffplasmas	65
6.2	Anpassung des elektromagnetischen Modells	67
6.3	Experimentelle Charakterisierung des MMWICPs	69
6.3.1	Optische Messungen	69
6.3.2	Mikrowellenmessungen	71
6.4	Simulation und Vergleich mit experimentellen Daten	72
6.4.1	Globale Plasmaparameter	72
6.4.2	Mikrowellenmessungen	74
6.4.3	Modenanalyse	76
6.4.4	Ortsaufgelöste Messungen	78
6.5	Zusammenfassung des Kapitels	84
7	Ortsaufgelöstes Modell der Elektronendichte	85
7.1	Das Drift-Diffusions-Modell	85
7.2	Entwicklung in ein Eigensystem orthogonaler Funktionen	87
7.2.1	Mathematischer Formalismus	87
7.2.2	Anwendung auf das Drift-Diffusions-Problem	88
7.3	Problemspezifische Annahmen	91
7.3.1	Elektronengenerationsrate	91
7.3.2	Näherung des Gleichungssystems	92
7.3.3	Ambipolare Diffusionskonstante	93
7.4	Lösung des axialen Problems	94
7.5	Simulation des MMWICPs im Betrieb	97
7.5.1	Simulation des H-Mode	97
7.5.2	Simulation des Hybridmode	101
7.6	Zusammenfassung des Kapitels	104
8	Zusammenfassung und Ausblick	105
8.1	Zusammenfassung	105
8.2	Ausblick	108
	Literaturverzeichnis	109

4	Elektromagnetisches Modell eines Teiljets	39
4.1	Lösung der Maxwellgleichungen	39
4.2	Herleitung der Plasmaadmittanz	46
4.3	Elektromagnetische Leistungsdichte	50
4.4	Zusammenfassung des Kapitels	52
5	Der MMWICP im Betrieb mit Argon	53
5.1	Plasmamodell für Argon	53
5.2	Kopplung der beiden Teilmodelle	56
5.2.1	Stabilität der Gleichgewichtspunkte	56
5.3	Einsichten in die Dynamik des Systems	61
5.4	Zusammenfassung des Kapitels	64
6	Der MMWICP im Betrieb mit Stickstoff	65
6.1	Globales Modell eines Stickstoffplasmas	65
6.2	Anpassung des elektromagnetischen Modells	67
6.3	Experimentelle Charakterisierung des MMWICPs	69
6.3.1	Optische Messungen	69
6.3.2	Mikrowellenmessungen	71
6.4	Simulation und Vergleich mit experimentellen Daten	72
6.4.1	Globale Plasmaparameter	72
6.4.2	Mikrowellenmessungen	74
6.4.3	Modenanalyse	76
6.4.4	Ortsaufgelöste Messungen	78
6.5	Zusammenfassung des Kapitels	84
7	Ortsaufgelöstes Modell der Elektronendichte	85
7.1	Das Drift-Diffusions-Modell	85
7.2	Entwicklung in ein Eigensystem orthogonaler Funktionen	87
7.2.1	Mathematischer Formalismus	87
7.2.2	Anwendung auf das Drift-Diffusions-Problem	88
7.3	Problemspezifische Annahmen	91
7.3.1	Elektronengenerationsrate	91
7.3.2	Näherung des Gleichungssystems	92
7.3.3	Ambipolare Diffusionskonstante	93
7.4	Lösung des axialen Problems	94
7.5	Simulation des MMWICPs im Betrieb	97
7.5.1	Simulation des H-Mode	97
7.5.2	Simulation des Hybridmode	101
7.6	Zusammenfassung des Kapitels	104
8	Zusammenfassung und Ausblick	105
8.1	Zusammenfassung	105
8.2	Ausblick	108
	Literaturverzeichnis	109