

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis.....	XIII
Abkürzungsverzeichnis.....	XV
Symbolverzeichnis	XVII
Kurzfassung	XXI
Abstract	XXIII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Ziel der Arbeit.....	3
2 Grundlagen und Stand der Technik	5
2.1 Elektrische Maschinen	5
2.2 Verlust- und Schädigungsmechanismen der PSM	6
2.3 Kühlprinzipien	8
2.4 Nasslaufende permanenterregte Synchronmaschine	10
2.4.1 Grundlegender Aufbau	10
2.4.2 Kühlkonzept.....	11
2.5 Stand der Technik – Simulation und Analyse	12
2.5.1 3D-Simulation	14
2.5.2 Analyse.....	17
3 Methodisches Vorgehen	21
3.1 Anforderungen an die Systemsimulation	22
3.1.1 Vorhersagegüte	22
3.1.2 Rechenzeit	24
3.2 Allgemeine Herausforderungen der Diskretisierung	24
3.2.1 Zeitskalen	24
3.2.2 Längenskalen	27
3.3 Abgeleiteter Handlungsbedarf.....	32

4	Schlüsselfaktoren der Kühlungssimulation	35
4.1	Wärmequellen	36
4.1.1	Elektromagnetische Verlustmechanismen.....	37
4.1.2	Mechanische Verlustmechanismen	39
4.2	Thermische Widerstände	40
4.2.1	Wärmeleitwiderstand	40
4.2.2	Thermische Kontaktwiderstände	44
4.2.3	Wärmesenken	45
4.3	Bewertung der Schlüsselfaktoren.....	50
4.3.1	Simulationsmodell	51
4.3.2	Einfluss der Solid-Modellierung	52
4.3.3	Einfluss der Wärmesenkenmodellierung	56
5	Fluid-Modellierung	59
5.1	Allgemeine Strömungsmechanik	59
5.1.1	Erhaltungsgleichungen	59
5.1.2	Numerische Modellierung	61
5.1.3	Turbulenz	62
5.1.4	Wandwärmeübergang	64
5.2	Mehrphasenströmung.....	65
5.2.1	Freie Oberflächen	65
5.2.2	Strömungen mit disperser Phase	66
5.3	Fehleranalyse	68
5.3.1	Fehlertypen	69
5.3.2	Parameterstudien	70
5.4	Modellierung der Fluid-Strömung.....	72
5.4.1	Rotorwelleninnenströmung.....	72
5.4.2	Innenraum	72
5.4.3	Spalt zwischen Rotor und Stator	86
5.4.4	Wassermantel	99
5.5	Bewertung der Subsysteme	100
6	Systemintegration und Validierung.....	103
6.1	Subsystem-Integration	103

6.2	Elektromotorprüfstand	107
6.2.1	Messtechnik und Fehleranalyse	107
6.2.2	Wahl der Bewertungsmatrix	109
6.3	Validierung	111
6.3.1	Auswertung und Diskussion.....	112
7	Zusammenfassung und Ausblick	121
	Literaturverzeichnis	125
	Anhang	135
A.1	Stoffdaten.....	135
A1.1	ATF134FE	135
A1.2	Wasser-Ethylenglykol-Gemisch	136
A.2	Kühlkreisläufe der verwendeten PSM.....	137