

Bewertung der salzbasierten
Parabolrinnentechnologie als solarthermisches
Kraftwerkskonzept der nächsten Generation

Diplomarbeit

erstellt von

Christian Metzger

unter der wissenschaftlichen Leitung von

Dr. -Ing. Tobias Hirsch

Dr. -Ing. Frank Dinter

Prof. Dr. -Ing. Robert Pitz-Paal

angefertigt am

Institut für Technische Thermodynamik des
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt



In Zusammenarbeit mit

RWE Innogy

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	vi
Formelzeichen	vii
Erklärung.....	ix
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Technik.....	3
2.1 Salzbasierete Parabolrinnentechnologie.....	3
2.2 Salzschnelzen als Wärmeträgerfluid.....	7
2.3 Bisherige Erfahrungen mit Salzschnelzen im solaren Bereich.....	9
2.4 Aktuelle Projekte in der salzbasierete Parabolrinnentechnologie	11
3 Grundlegende Untersuchung salzspezifischer Aspekte.....	15
3.1 Solarfeldaufbau	15
3.1.1 Einfluss der Stranglänge auf die Wärmeübertragung zwischen Absorber und Wärmeträgerfluid	15
3.1.2 Einfluss der Stranglänge auf die benötigte Pumpleistung	18
3.1.3 Einfluss der Stranglänge auf die Temperatur am Solarfeldaustritt im Rezirkulationsfall.....	19
3.1.4 Ableiten der idealen Stranglänge	21
3.2 Einfrierschutzmaßnahmen	21
3.2.1 Abkühlverhalten des salzbasierten Parabolrinnensystems	22
3.2.2 Einfrierschutz durch Rezirkulation	24
3.2.3 Heizeinrichtungen	25
3.2.3.1 Zufeuerung im Speichertank.....	25
3.2.3.2 Elektrische Beheizung der Verrohrung.....	25
3.2.4 Energiebedarf der Einfrierschutzmaßnahmen.....	26
3.2.4.1 Einfluss des Standortes	27
3.2.4.2 Einfluss der Aperturweite.....	28
3.2.4.3 Einfluss des Absorberwärmeverlustes	29
3.2.4.4 Einfluss der Headerwärmeverluste.....	32
3.2.4.5 Einfluss der Mediumstemperatur während der Auskühlphase.....	33
4 Betrachtung des salzbasierten Gesamtkraftwerks	35

4.1	Beschreibung des thermodynamischen Modells.....	36
4.1.1	Solares System.....	36
4.1.1.1	Komponenten.....	37
4.1.2	Betriebszustände und Regelung des solaren Systems	39
4.1.2.1	Betriebszustand Produktion	39
4.1.2.2	Betriebszustand Rezirkulation	39
4.1.2.3	Dumping.....	41
4.1.3	Kraftwerksblock	42
4.1.3.1	Komponenten.....	42
4.1.4	Betriebszustände und Regelung des Kraftwerksblocks	44
4.1.4.1	Volllast.....	45
4.1.4.2	Kein Betrieb.....	45
4.2	Beschreibung des ökonomischen Modells	45
5	Betrachtung des ölbasierten Gesamtkraftwerks als Referenz.....	49
5.1	Beschreibung des thermodynamischen Modells.....	50
5.1.1	Solares System.....	50
5.1.1.1	Komponenten.....	51
5.1.2	Betriebszustände und Regelung des solaren Systems	54
5.1.2.1	Betriebszustand Produktion	55
5.1.2.2	Betriebszustand Kein Betrieb.....	55
5.1.3	Berücksichtigung der Wärmeverluste des Solarfelds während der Auskühlphasen	56
5.1.3.1	Bestimmung der thermischen Trägheit des Ölsystems.....	57
5.1.3.2	Analytisches Abkühlmodell.....	58
5.1.3.3	Numerisches Abkühlmodell.....	60
5.1.4	Kraftwerksblock	66
5.1.4.1	Komponenten.....	67
5.1.5	Betriebszustände und Regelung des Kraftwerksblocks	68
5.1.5.1	Betriebszustand Volllast.....	68
5.1.5.2	Betriebszustand Teillast	69
5.1.5.3	Betriebszustand Kein Betrieb.....	69
6	Ergebnisse.....	71
6.1	Salzbasierte Parabolrinnenkraftwerke	72
6.1.1	Energetische Betrachtungen.....	73

6.1.2	Ökonomische Betrachtung	75
6.2	Ölbasierte Parabolrinnenkraftwerke	79
6.2.1	Energetische Betrachtung	80
6.2.2	Ökonomische Betrachtungen	81
6.3	Technologieübergreifender Vergleich der unbedingt ökonomisch optimierten Kraftwerkskonfigurationen	85
6.3.1	Energetische Betrachtung	85
6.3.2	Ökonomische Betrachtung	88
6.4	Technologieübergreifender Vergleich der bedingt ökonomisch optimierten Kraftwerkskonfigurationen	91
6.4.1	Energetische Betrachtungen.....	91
6.4.2	Ökonomische Betrachtungen	92
6.5	Schlussfolgerungen und Fazit	93
7	Zusammenfassung.....	97
8	Ausblick	103
	Literaturverzeichnis	104
	Anhang	106
A.	Bestimmung der Wärmeübertragungskoeffizienten.....	107
B.	Bestimmung der benötigten Pumpleistung	109
C.	Bestimmung der thermischen Trägheit des Ölsystem.....	111
D.	Kraftwerkparameter	113
E.	EBSILON Modelle.....	117
F.	Tabellierte Ergebnisse der Jahresertragsrechnungen	120