

# Numerische Simulation der Absorberdynamik von Parabolrinnen-Solarkraftwerken mit direkter Dampferzeugung

Inhalt	Seite
NOMENKLATUR .....	viii
1. EINLEITUNG .....	1
2. PARABOLRINNEN-SOLARKRAFTWERKE .....	3
2.1 Beschreibung bestehender Anlagen .....	3
2.2. Parabolrinnen-Solarkraftwerke mit direkter Dampferzeugung .....	7
2.3. Auswahl der Kreisprozeßdaten für die Berechnungen .....	10
2.4. Konzeption des Kollektorfelds .....	13
2.4.1. Der LS-4 Kollektor .....	13
2.4.2. Das Kollektorfeld .....	14
2.4.3. Aufteilung des Kollektorfelds in parallele Stränge .....	16
3. BERECHNUNGSVERFAHREN .....	20
3.1. Das mathematische Modell der Absorberströmung .....	21
3.1.1. Die Bilanzgleichungen für die Wasser-/Dampfströmung .....	21
3.1.2. Die Bilanzgleichungen für die Rohrwand .....	24
3.1.3. Ortsdiskretisierung und Randbedingungen .....	24
3.2. Die mathematische Beschreibung der Anlagenkomponenten .....	26
3.2.1. Pumpen .....	26
3.2.2. Einspritzstellen .....	26
3.2.3. Dampfturbine .....	27
3.2.4. Regler .....	27
3.3. Die Lösungsmethode .....	28
3.3.1. Allgemeines .....	28
3.3.2. Lösungsverfahren mit entkoppelter Ermittlung des Druckfelds .....	29
3.3.3. Newton-Raphson-Methode zur Berechnung des neuen Strömungszustands .....	31
3.4. Verifikation des Lösungsverfahrens .....	32
3.4.1. Überprüfung des Programms mit dem $\kappa_D$ -Modell .....	32
3.4.2. Überprüfung des Programms mit Meßergebnissen .....	34
3.4.2.1. Beschreibung der HIPRESS Wasser/Dampf- Versuchsanlage .....	34
3.4.2.2. Die radiometrische Dichtemeßanlage RaDiMe .....	36
3.4.2.3. Grundlagen zum Vergleich der Meßergebnisse mit Simulationsergebnissen für transiente Prozesse .....	36
3.4.2.4. Beschreibung der Versuche .....	37

---

3.4.2.5. Auswertung des Versuchs "Dampfventil öffnen" .....	38
3.4.2.6. Auswertung des Versuchs "Dampfventil schließen" .....	41
3.4.3. Vergleichsrechnungen zu anderen numerischen Verfahren .....	43
4. HILFSFUNKTIONEN .....	44
4.1. Verlustwärmeströme .....	44
4.2. Wärmeübergang und Druckverlust .....	44
4.2.1. Strömungsformen in den geneigten Absorberrohren .....	44
4.2.2. Wärmeübertragung in Einphasenströmung .....	48
4.2.3. Wärmeübertragung im Bereich der Zweiphasenströmung .....	49
4.2.3.1 Sieden.....	49
4.2.3.2 Kondensieren.....	51
4.2.4. Druckverluste bei Einphasenströmung .....	54
4.2.5. Druckverluste bei Zweiphasenströmung .....	55
4.3. Stoffwerte für Wasser/Dampf .....	57
5. REGELUNG EINES SOLAREN DURCHLAUFDAMPFERZEUGERS BEI FLUKTUIERENDER EINSTRAHLUNG .....	58
5.1. Allgemeines .....	58
5.2. Einstrahlungsbedingungen .....	58
5.2.1. Gemessene Einstrahlungsdaten .....	58
5.2.2. Beschreibung von Wolkenfeldern .....	60
5.3. Dampferzeugerregelung in einem Parabolrinnen-Solarkraftwerk .....	63
5.3.1. Bauarten von Dampferzeugern mit Zwangdurchlauf .....	63
5.3.2. Heißdampf temperaturregelung .....	64
5.3.3. Speisewasserregelung in einem solaren Zwangdurchlauf- Dampferzeuger.....	66
6. SIMULATIONSERGEBNISSE .....	68
6.1. Vorgabedaten .....	68
6.2. Auslegung und Positionierung von Einspritzkühlern .....	69
6.3. Verhalten des DE's in Gleit- und Vordruckfahrweise .....	71
6.3.1. Gleitdruckfahrweise .....	72
6.3.2. Vordruckfahrweise.....	75
6.4. Regelung des DE's bei Einsatz eines einzelnen Einspritzkühlers und Vordruckbetrieb.....	79
6.4.1. Reaktion des DE's auf Strahlungsschwankungen bei Vordruckbetrieb .....	80
6.4.2. Verhalten des DE's bei Abschattungen von Kollektoren durch Wolken und Vordruckbetrieb .....	82
6.4.2.1. Abschattung des 1.-3. Kollektors .....	82
6.4.2.2. Abschattung des 10.-12. Kollektors .....	84
6.4.2.3. Abschattung des 22.-24. Kollektors .....	86
6.4.2.4. Abschattung des 30.-32. Kollektors .....	88
6.5. Einsatz von zwei Einspritzkühlern und Steuerung der Kollektoraus- richtung .....	89
6.6. Einfluß zunehmender Wolkengröße auf den Betrieb des DE's .....	92

---

6.6.1. Ansätze zur Verhinderung eines starken Abfalls der Frischdampf- temperatur bei Wolkendurchgang .....	95
6.6.1.1. Untersteuerung der Speisewasserzufuhr .....	95
6.6.1.2. Beeinflussung des Dampfmassenstroms durch gezieltes Defokussieren von Kollektoren im Verdampferabschnitt .....	97
6.7. Betrieb des DE's bei Durchzug eines Wolkenfelds.....	101
7. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....	106
7. ANHANG: BERECHNUNGSABLAUF DES NUMERISCHEN SIMULATIONSPROGRAMMS DSG.....	108
9. LITERATURVERZEICHNIS.....	111