

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	VIII
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik und wissenschaftliche Ausgangssituation	3
2.1 Stand der Technik bei Parabolrinnen-Solarkraftwerken	4
2.1.1 Parabolrinnen-Solarkraftwerke mit direkter Dampferzeugung . .	5
2.1.2 Schaltungskonzepte für Direktverdampfungskraftwerke	7
2.2 Ausgangssituation für die Berechnung der thermohydraulischen Vor- gänge bei der solaren Direktverdampfung	8
2.2.1 Thermohydraulische Grundlagen und Definitionen	9
2.2.2 Methoden zur Vorhersage von Strömungsformen	11
2.2.2.1 Strömungsformenkarte nach Baker	13
2.2.2.2 Strömungsformenkarte nach Mandhane, Gregory und Aziz	14
2.2.2.3 Strömungsformenkarte nach Taitel und Dukler sowie Barnea	16
2.2.2.4 Strömungsformenkarte nach Kokal und Stanislav . . .	25
2.2.2.5 Strömungsformenkarte nach Steiner	28
2.2.2.6 Strömungsformenbestimmung aus der Dryout-Berech- nung	30
2.3 Technische Entwicklungsschritte und Forschungsbedarf	32
3 Hochdruck-Wasser/Dampf-Versuchsanlage	35
3.1 Anlagenkonzept und ausgeführte Versuchsanlage	37
3.2 Meß- Steuer- und Regelungstechnik	41

3.3	Versuchsstrecke	45
3.4	Bestimmung von Massenstrom und Dampfgehalt im Meßquerschnitt . .	47
4	Radiometrische Dichtemeßanlage zur Rekonstruktion der Phasenverteilung	49
4.1	Mechanischer und elektronischer Aufbau der Dichtemeßanlage	49
4.2	Umsetzung von gemessenen Spannungssignalen in örtliche volumetrische Dampfgehalte	53
4.2.1	Basisbeziehungen für die Meßwertumsetzungen	55
4.2.2	Röntgenspektrum	56
4.2.3	Schwächungskoeffizienten	57
4.2.4	Zusammenhang zwischen Meßdaten und örtlichen volumetrischen Dampfgehalten	58
4.2.5	Kalibriermessungen	60
4.2.6	Kalibrierkurven	61
4.3	Rekonstruktion der Strömungsform aus den örtlichen volumetrischen Dampfgehalten	61
4.3.1	Musterdefinition und -erkennung	64
4.3.2	Bestimmung der freien Parameter der Grundmuster	67
4.4	Genauigkeits- und Interpretationsgrenzen der radiometrischen Dichtemeßtechnik und des Auswerteprogrammes	72
5	Siphon-Instabilität	75
5.1	Physik der Siphon-Instabilität	75
5.2	Rechnerische Abschätzung der Voraussetzungen für die Siphon-Instabilität	76
5.2.1	Stabilität nach dem Boe-Kriterium	77
5.2.2	Stabilität nach dem Taitel-Kriterium	79
5.2.3	Auswertung der Rechenansätze	81
5.3	Experimente zur Siphon-Instabilität	83
6	Umschlag von intermittierender Strömung in eine andere Strömungsform	87
6.1	Versuchsdurchführung	87
6.2	Identifikation der Strömungsformen anhand der Meßwerte der Dichtemeßanlage	89

6.3	Vergleich der beobachteten Strömungsformen mit der rechnerisch ermittelten Grenzkurve	90
6.3.1	Entwicklung der Strömungsformen entlang des Verdampferrohres	91
6.3.2	Einfluß des Systemdruckes auf die Strömungsformen	91
6.3.3	Beeinflussung der Strömungsformen durch die Rohrbeheizung .	91
7	Umschlag von geschichteter Strömung in eine andere Strömungsform	95
7.1	Versuchsdurchführung	95
7.2	Identifikation der Strömungsform anhand der gemessenen Rohrwandtemperaturen	96
7.3	Vergleich der beobachteten Strömungsformen mit der rechnerisch ermittelten Grenzkurve	100
7.4	Exkurs: Der Übergang von Schichtenströmung zu Ringströmung	101
7.5	Rechengang für den Umschlag von Schichtenströmung in geschlossene Ringströmung	105
7.5.1	Messung und Berechnung der Schichtenhöhe	106
7.5.2	Bestimmung des Reibungskoeffizienten zwischen den Phasen . .	108
7.5.3	Stabilitätskriterium für geschichtete Strömung	111
7.5.4	Verschiebung der Grenzkurven aufgrund der veränderten Reibungskoeffizienten zwischen den Phasen	114
7.6	Einfluß der Beheizung auf die Grenzkurve zur Schichtenströmung . . .	115
7.7	Einfluß des Druckes auf die Strömungsformen	118
7.8	Einfluß der Einlaufänge auf die Grenzkurve zur Schichtenströmung . .	120
8	Vollständige Strömungsformenkarte	121
9	Zusammenfassung	125
A	Einfluß der Wärmedehnung auf die Meßgenauigkeit der radiometrischen Dichtemeßanlage	129
A.1	Rechengang	129
A.2	Diskussion der Ergebnisse	132

B Fehlerabschätzung für die Messungen zur Bestimmung der Grenzkurve zur Schichtenströmung	133
B.1 Meßsignale für die Rohrwandtemperatur	133
B.2 Bestimmung des Strömungszustandes am Meßquerschnitt	135
B.2.1 Einfluß der Einzelmessungen auf den Strömungszustand	135
B.2.2 Plausibilitätskontrolle der Bestimmung des Strömungszustandes durch Messungen an beheizten Einphasenströmungen	137
B.3 Reproduzierbarkeit der Messungen	140
C Abspeicherungsformat für die Meßwerte	141
D Auswirkung der Beheizungsrichtung auf die Grenzkurve zur Schichtenströmung	145
Literaturverzeichnis	148