

Dipl.-Ing. Robert Fromm, Eching

# **Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Leistungscharakteristik von Gravitationswärmerohren**

## **Zum Problem der GWR-Auslegung mittels der Rohrwandtemperatur als Kopplungsparameter zur Umgebung**

Reihe **6**: Energietechnik

Nr. **345**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Problemstellung</b>	<b>1</b>
1.1	Funktionsweise und Anwendungen des Wärmerohres . . . . .	1
1.2	Problemstellung . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Übersicht über den Stand der Forschung</b>	<b>6</b>
2.1	Zusammenfassende Arbeiten . . . . .	6
2.2	Experimentelle Arbeiten . . . . .	6
2.3	Visuelle Untersuchungen . . . . .	9
2.4	Theoretische Untersuchungen . . . . .	10
2.4.1	Halbempirische Korrelationsfunktionen . . . . .	10
2.4.2	Theoretische Modelle einzelner Teilbereiche . . . . .	12
2.4.3	Theoretische Modelle für das Gesamt-GWR . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Der GWR-Versuchsstand</b>	<b>15</b>
3.1	Problematik eines GWR-Experimentalprogrammes . . . . .	15
3.2	Konzept der GWR-Anlage . . . . .	19
3.3	Beschreibung der Versuchsanlage . . . . .	21
3.3.1	Grundgestell mit GWR . . . . .	21
3.3.2	Aufbau der Heiz- und der Kühlzone . . . . .	24
3.3.3	Kühlkreislauf . . . . .	26
3.3.4	Meßwerterfassungs- und Auswertungssystem . . . . .	30
3.3.5	Temperatur- und Leistungssteuerung . . . . .	32
3.3.6	Sicherheitssystem . . . . .	33

3.4	Versuchsaufbau . . . . .	34
3.4.1	Anordnung der Thermoelemente . . . . .	34
3.4.2	Verwendete Wärmerohre . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Der Regelalgorithmus</b>	<b>38</b>
4.1	Problemstellung . . . . .	38
4.2	Analyse der Regelstrecken, Ermittlung und Auswertung der Übertragungsfunktionen . . . . .	39
4.2.1	Auswertung der Sprungantworten . . . . .	40
4.3	Problematik von verkoppelten Mehrgrößensystemen . . . . .	43
4.3.1	Implementierung des Regelalgorithmus . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>50</b>
5.1	Übersicht über die gewählten Versuchsparameter . . . . .	50
5.2	Gleichungen zur Korrelation der gemessenen Wärmeübergangskoeffizienten . . . . .	51
5.3	Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen . . . . .	55
5.3.1	Auswertung des Gesamt-GWR . . . . .	55
5.3.2	Wärmeübergang innerhalb des GWR . . . . .	65
5.3.3	Wärmeübergang in der Kondensator- oder Kühlzone . . . . .	70
5.3.4	Überprüfung auf Fluten des GWR . . . . .	73
<b>6</b>	<b>Theoretisches Modell zur Auslegung eines GWR</b>	<b>75</b>
6.1	Vorbetrachtungen zur Auswahl eines geeigneten Modelles . . . . .	75
6.2	Gleichungen zur Beschreibung der Zwei-Phasen-Ringströmung . . . . .	78
6.2.1	Basismodell . . . . .	78
6.2.2	Erweiterungen für den Kondensator . . . . .	79
6.2.3	Einführung von dimensionslosen Variablen . . . . .	81
6.3	Konstitutive Gleichungen . . . . .	82
6.3.1	Modellierung der Schubspannung an der Phasengrenze . . . . .	82
6.3.2	Wandreibung . . . . .	85

---

6.3.3	Wärmeübergangskoeffizienten . . . . .	86
6.3.4	Stoffwerte . . . . .	87
6.3.5	Flutpunktsbestimmung . . . . .	87
6.4	Numerische Lösung des Gleichungssystemes . . . . .	88
6.5	Ergebnisse . . . . .	89
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>96</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>99</b>
8.1	Fehlerbetrachtung . . . . .	99
8.2	Regelungstechnik bei verkoppelten Mehrgrößenstrecken . . . . .	103
8.2.1	Theoretische Beschreibung einer verkoppelten Mehrgrößenstrecke . . . . .	103
8.2.2	Entkopplung der Regelkreise . . . . .	104
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>109</b>