

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	v
Nomenklatur.....	ix
1 Einleitung.....	1
2 Einführung und Literaturübersicht.....	3
2.1 Gravitationswärmerohre.....	3
2.1.1 Aufbau und Funktionsweise.....	3
2.1.2 Literaturübersicht.....	6
2.2 Gravitationswärmerohre in solarthermischen Kollektoren.....	8
2.2.1 Integration und Funktionsweise.....	8
2.2.2 Forschungsarbeiten und kommerzielle Anwendungen.....	11
3 Messtechnische Bewertungsverfahren.....	15
3.1 Prüfstand für Wärmetransporteigenschaften von Wärmerohren.....	15
3.1.1 Grundlegende Eigenschaften.....	15
3.1.2 Messaufbau und -verfahren.....	17
3.2 Prüfstand für Wärmetransporteigenschaften von Sammlern.....	20
3.2.1 Grundlegende Eigenschaften.....	20
3.2.2 Messaufbau und -verfahren.....	21
4 Befüllverfahren von Wärmerohrprototypen und Qualitätsbewertung.....	23
4.1 Problemstellungen der Wärmerohrfertigung.....	23
4.2 Prototypenfertigung und Befüllverfahren.....	24
4.3 Anlaufemperaturdifferenz als Bewertungskriterium.....	26
4.4 Schnelltest-Prüfstand.....	29
5 Eigenschaften kommerzieller Wärmerohrlösungen für Kollektoren.....	31
5.1 Wärmetransportverhalten von Wärmerohren.....	32
5.1.1 Thermischer Leitwert.....	33
5.1.2 Leistungsübertragungsgrenzen.....	37
5.2 Wärmetransportverhalten von Sammlern.....	43
5.3 Wärmetransportverhalten von Kollektoren mit Wärmerohren.....	45
5.3.1 Thermische Anbindung des Wärmerohrs an die Absorberoberfläche.....	45
5.3.2 Nutzwärmestrompfade kommerzieller Kollektoren mit Wärmerohren.....	47
6 Modellierung des Wärmetransports von Wärmerohren und Sammlern.....	50
6.1 Thermischer Leitwert von Gravitationswärmerohren.....	50
6.1.1 Anforderungen und Modellansatz.....	50
6.1.2 Kondensationswärmeübergang.....	53
6.1.3 Verdampfungswärmeübergang.....	56
6.1.4 Modellentwicklung.....	61
6.1.5 Modellvalidierung und -beschreibung.....	71
6.2 Leistungsübertragungsgrenzen von Gravitationswärmerohren.....	78
6.3 Modellierung der Wechselwirkungsgrenze.....	80

6.4	Modellierung der Austrocknungsgrenze.....	83
6.4.1	Bekannte Berechnungsverfahren.....	83
6.4.2	Herleitung eines neuen Modellierungsansatzes	85
6.4.3	Modellanpassung.....	90
6.4.4	Modellvalidierung und -beschreibung	98
6.5	Modellierung von Sammlern.....	102
7	Analyse und Optimierung von Wärmerohrlösungen für Kollektoren	106
7.1	Analyse der Einzelkomponenten des Nutzwärmestrompfades	106
7.1.1	Thermischer Leitwert von Wärmerohren.....	106
7.1.2	Leistungsübertragungsgrenzen von Wärmerohren	109
7.1.3	Wärmetransporteigenschaften von Sammlern.....	114
7.1.4	Detailbetrachtung zum Nutzwärmestrompfad.....	117
7.2	Optimierungsansätze für Wärmerohrlösungen in Kollektoren.....	118
7.2.1	Verbesserung der Wärmetransportfähigkeit von Wärmerohren.....	119
7.2.2	Verbesserung der Wärmetransportfähigkeit von Sammlern.....	122
7.2.3	Optimierung der Temperaturbegrenzung bei Stagnation.....	124
8	Integration von Wärmerohren in Flachkollektoren.....	127
8.1	Konzeption und Beschreibung der Kollektorprototypen.....	127
8.2	Messtechnische Bewertung der Kollektoren.....	130
9	Zusammenfassung und Ausblick	135
Anhang	A-1	
A	Darstellung der entwickelten Prüfstände.....	A-1
B	Messunsicherheitsbetrachtung.....	A-3
C	Wärmerohrprüflinge und Messreihen	A-5
C.1	Auflistung der untersuchten Wärmerohre	A-5
C.2	Auflistung der Messreihen von Wärmerohren.....	A-6
D	Zusätzliche Messergebnisse	A-7
D.1	Messergebnisse von weiteren Wärmerohren.....	A-7
D.2	Weitere messtechnische Untersuchungen von Sammlern.....	A-9
E	Darstellung der Flachkollektorprototypen	A-16
F	Programmcode der Wärmerohrmodellierung.....	A-17
F.1	Modul <i>Berechnung des thermischen Leitwerts</i>	A-17
F.2	Modul <i>Berechnung der Leistungsgrenzen</i>	A-23
F.3	Modul <i>Stoffdaten</i>	A-27
Literaturverzeichnis	xiii	