
Kostengünstige und zuverlässige Solarsysteme durch neuartige Wärmerohr-Kollektoren

Ein Projekt gefördert durch
das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
(BMWi)

Abschlussbericht zum Vorhaben

Kurzbezeichnung: HP-Koll
Förderkennzeichen: 0325550A-C
Laufzeit: 01.09.2014 - 31.03.2018

Autoren:

Bert Schiebler und Federico Giovannetti (ISFH)

Wilfried Schaffrath (NARVA Lichtquellen)

Steffen Jack (KBB Kollektorbau)

Dezember 2018

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

PTJ
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	6
Zusammenfassung.....	10
1 Einleitung.....	13
1.1 Stagnationsproblematik in Solarsystemen	13
1.1.1 Grundlagen Stagnation	13
1.1.2 Möglichkeiten zur Vermeidung von Stagnation.....	13
1.2 Grundlagen wärmerohrbasierter Sonnenkollektoren	14
1.2.1 Eigenschaften von Wärmerohren	14
1.2.2 Leistungsübertragungsgrenzen von Wärmerohren.....	15
1.2.3 Wärmerohre in Sonnenkollektoren	16
1.3 Projektziele	18
1.4 Gliederung des Berichts.....	19
2 Entwicklung von Kollektorsimulationsmodellen	20
2.1 Modellierung der Leistungsfähigkeit im Betriebsbereich.....	21
2.1.1 Kollektorwirkungsgrad.....	21
2.1.2 Definition thermischer Leitwerte.....	22
2.2 Modellierung der wärmerohrbasierten Temperaturbegrenzung	26
2.2.1 Beginn der Austrocknungsgrenze	27
2.2.2 Überhitzungseffekt	28
2.2.3 Wärmestrom durch metallische Rohrhülle	32
2.2.4 Bestimmung des Wärmerohr-Innendrucks	33
2.3 Jahresartragssimulationen in TRNSYS.....	35
2.4 Fazit zur Modellierung wärmerohrbasierter Kollektoren.....	36
3 Befüll- und Bewertungsverfahren für Wärmerohre	37
3.1 Grundlagen zur Herstellung von Wärmerohren	37
3.2 Wärmerohrfertigung im Labormaßstab am ISFH.....	37
3.3 Testverfahren zur Bewertung von Wärmerohren	38
3.3.1 Qualitätskontrolle per Schnelltestverfahren	38
3.3.2 Thermische Belastungstests mit Wärmerohren	39
3.3.3 Prüfstand zur Leitwert- und Leistungsanalyse	40
4 Kupfersubstitution.....	41
4.1 Material der Wärmerohr-Hülle.....	41
4.1.1 Aluminium-Wärmerohre in FK.....	42
4.1.2 Stahl-Wärmerohre in VRK	44
4.2 Aluminium-Absorber in VRK	47
4.3 Kostengünstige Stahlsammler in VRK	49
4.4 Fazit zur Kupfersubstitution	50
5 Entwicklung von leistungsfähigen Kollektor-Wärmerohren.....	51
5.1 Wahl des Arbeitsmediums	51
5.1.1 Bewertung der Leistungsfähigkeit.....	51
5.1.2 Einfluss auf das Abschaltverhalten	54
5.1.3 Mehrstofffluide und Gemische	55
5.2 Optimierung des Wärmerohrleitwerts durch Rippen	56

5.3	Einfluss der Leistungsfähigkeit auf den Abschaltprozess	59
5.4	Fazit zur Entwicklung leistungsfähiger Wärmerohre	61
6	Optimierte Lösungen für Vakuumröhrenkollektoren.....	62
6.1	Möglichkeiten zur Optimierung der thermischen Anbindung.....	62
6.2	Ergebnisse der Prototypenbewertung im Sonnenkollektor	63
6.3	Untersuchung neuer Wärmeleitpasten.....	65
6.4	Nutzung rückseitiger Strahlungsgewinne mit Reflektor.....	69
6.5	Fazit der Optimierung wärmerohrbasierter VRK.....	73
7	Optimierte Lösungen für Flachkollektoren.....	74
7.1	Simulative Bewertung verschiedener Sammlerkonzepte.....	74
7.2	Experimentelle Bewertung von Flachkollektor-Prototypen.....	77
7.2.1	Untersuchung der Leistungsfähigkeit.....	77
7.2.2	Wirkungsgrad des Prototypkollektors	79
7.2.3	Betrachtung der Stagnationstemperaturbegrenzung	80
7.3	Simulationsstudie in TRNSYS.....	81
7.3.1	Durchführung von Systemsimulationen	81
7.3.2	Simulationsergebnisse der Prototypvarianten	83
7.3.3	Variation des Kollektorverlustkoeffizienten	84
7.3.4	Variation der Abschalttemperatur	85
7.4	Fazit der Entwicklung wärmerohrbasierter FK	86
8	Systembewertung von wärmerohrbasierten VRK-Anlagen	88
8.1	Systemkonfiguration.....	88
8.2	Mess- und Anlagentechnik.....	90
8.3	Dynamische Systemtests nach ISO EN 9459-5.....	91
8.4	Validierung mit TRNSYS.....	94
8.4.1	Durchführung von Systemsimulationen	94
8.4.2	Vergleich der Ergebnisse mit DST	95
8.5	Bewertung des Stagnationsverhaltens.....	97
8.5.1	Durchführung von Stagnationstests.....	97
8.5.2	Systemdruck bei Stagnation	98
8.5.3	Maximalbelastung	99
8.5.4	Betrachtung der Belastungsdauer	99
8.6	Qualitative Bewertung der Dauergebrauchstauglichkeit beider Systeme	101
8.6.1	Beobachtungen während des Anlagenbetriebs	101
8.6.2	Bewertung der Alterung des Wärmeträgers.....	102
8.6.3	Alterung der Wärmeleitpaste	105
8.7	Parameterstudie in TRNSYS	106
8.7.1	Einfluss der Dimensionierung des Systems.....	106
8.7.2	Einfluss des Abschaltverhaltens	107
8.8	Zusammenfassung der Systembetrachtung	109
9	Kostenvorteile bei Herstellung und Betrieb von Solarkreisen	110
9.1	Definition des Referenzsystems nach IEA TASK 54.....	110
9.2	Kosten für Komponenten und Installation	110
9.3	Kosten für Wartung und Instandhaltung	112
9.4	Bewertung der Wärmegestehungskosten	113

9.5	Fazit zur Betrachtung der Kosteneinsparpotentiale im Solarsystem.....	114
10	Wärmerohrbasierte Thermosiphonsysteme	115
10.1	Integrationskonzepte von Wärmerohren in Thermosiphonsysteme.....	115
10.2	Experimentelle Bewertung von Thermosiphonsystemen	118
10.2.1	Versuchsaufbau und Messverfahren	118
10.2.2	Systemleistungsfähigkeit der Prototypen	119
10.2.3	Stagnationsverhalten der Prototypen.....	122
10.3	Jahresertragssimulationen mit Thermosiphonsystemen.....	125
10.3.1	Durchführung von Systemsimulationen	125
10.3.2	Vergleich der Systemleistung mit den DST-Ergebnissen	126
10.3.3	Bewertung der Stagnationsbelastung von TSA durch Simulation	127
10.4	Fazit zu wärmerohrbasierten Thermosiphonsystemen	129
11	Veröffentlichungen	131
12	Verwertbarkeit der Ergebnisse	134
12.1	Modelle zur Beschreibung der Temperaturbegrenzung.....	134
12.2	Aussagen zum Systemverhalten in realen Testanlagen	135
12.3	Kostenanalyse von stagnationssicheren Solarsystemen	135
12.4	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	136
	Literatur.....	137
	Anhang.....	141
A	Liste Arbeitsmedien	141
B	Weitere Abbildungen zu VRK-basierten TSA.....	142