

Hochschule für Technik Stuttgart

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Forschungsprojekt PVTintegral

Projektbericht

**Multivalente photovoltaisch-thermische Kollektoren zur Kälte-,
Wärm- und Stromerzeugung und Szenarien für die
Gebäudeintegration**

Inhaltsverzeichnis

	Projektdaten	1
	Inhaltsverzeichnis	2
	Kurzfassung	8
Teil 1	Eingehende Projektdarstellungen	10
1	Kurzdarstellung	10
1.1	Aufgabenstellung	10
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	11
1.3	Planung und Aufbau	12
1.4	Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand zu Projektbeginn	13
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	15
2	Eingehende Darstellungen	16
2.1	Verwendung der Zuwendungen und Ergebnisse des Forschungsvorhabens	16
2.2	Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	20
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	20
2.4	Voraussichtlicher Nutzen	20
2.5	Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	21
2.6	Erfolge Veröffentlichungen der Ergebnisse	22
	Literaturverzeichnis Teil 1	24
Teil 2	 Projektdokumentation	26
1	Grundlagen und Bewertung von PV- und Absorbertechnologien	26
1.1	PVT-Technologien und Einteilung in Kollektortypen	26
1.2	Performance und technische Anforderungen an PVT-Kollektoren	30
1.2.1	Aspekte und Kriterien zur Bauweise von PVT-Kollektoren, mit Einfluss auf die thermische Leistungsfähigkeit	30
1.2.1.1	PVT-Kollektorkonstruktion:	31
	Absorber, Wärmedämmung & Glasabdeckung	
1.2.1.2	Fügetechnik:	33
	Thermischer Kontakt & Wärmedurchgangskoeffizienten	
1.2.1.3	Materialeigenschaften	35
1.2.1.4	Anlagentechnische Faktoren	39
1.2.1.5	Klimatische Faktoren	41
1.2.2	Systemanwendung von PVT-Kollektoren	44
1.2.3	Zusammenfassung zu den Grundlagen zu PVT-Kollektoren	47

1.3	Untersuchungen zu schaltbaren PVT-Systemen	48
1.3.1	Saisonale Schaltung (Winter/ Sommer)	48
1.3.2	Offenes und geschlossenes System	51
1.3.3	Regelungstechnisches Schalten	52
1.3.4	Projektbeispiele	53
1.4	Marktstudie zu PVT-Kollektoren	54
1.4.1	Marktübersicht der wasserbasierten PVT-Kollektoren	54
1.4.2	Besonderheiten am Markt	56
1.4.2.1	Nichtabgedeckte PVT-Kollektoren	56
1.4.2.2	Abgedeckte PVT-Kollektoren	61
1.4.2.3	Weitere Produktansätze	62
1.4.2.4	Schlussfolgerungen	63
1.4.3	Zulassung, Zertifizierung und Förderung	64
1.4.4	Bewertung PV-Modul-Absorber Kombinationen	64
2	Entwicklungsziel und Matrix Modul-Fügetechnik-Kombination	68
2.1	Rückblick und Schlussfolgerung für das Entwicklungsziel	68
2.2	Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse in Bezug auf das Entwicklungsziel	69
2.3	Matrix Modul-Fügetechnik-Kombination	70
3	Gebäudeintegration von PVT-Kollektoren	75
3.1	Konstruktive und optische Aspekte der Integration	76
3.1.1	Exkurs gebäudeintegrierte PV und Solarthermie	77
3.1.1.1	Photovoltaik (kristalline und Dünnschicht-Technologie)	77
3.1.1.2	Solarthermie (Flachkollektoren, solegeführt)	79
3.1.2	Gebäudeintegrierte Hybridkollektoren	82
3.1.2.1	Möglichkeiten der Befestigung	83
3.1.2.2	Zusätzliche Lasten	86
3.1.2.3	Hydraulische Montage und elektrische Anschlüsse	87
3.1.2.4	Spezifische Kriterien zu gebäudeintegrierten PVT-Kollektoren	89
3.2	Aspekte der Gebäudeintegration für eine optimale Leistungsfähigkeit der Kollektoren	90
3.2.1	Kollektororientierung und -neigung	90
3.2.2	Hinterlüftung und Kollektordämmung	91
3.2.2.1	Einfluss der Rückseitendämmung im Vergleich zur Hinterlüftung auf die Kollektorperformance	92
3.2.2.2	Vergleichsstudie: Einfluss einer Hinterlüftung zur freien Aufständigung	94
3.3	Einfluss gebäudeintegrierter PVT Kollektoren auf die Gebäudeperformance	100

3.4	Parameterstudie zu gebäudeintegrierten PVT-Kollektoren	101
3.4.1	Das Gebäudemodell	101
3.4.2	Klimadaten	102
3.4.3	Anlagenkonzept	102
3.4.4	Ergebnisse für Straßburg	102
3.4.4.1	Wärme	105
3.4.4.2	Kälte	105
3.4.4.3	Strom	107
3.4.4.4	Fazit Straßburg	109
3.4.5	Ergebnisse für Athen	112
3.4.5.1	Wärme	112
3.4.5.2	Kälte	114
3.4.5.3	Strom	115
3.4.5.4	Fazit Athen	116
3.4.6	Effizienzvergleich zu andern Systemen	119
3.4.7	Fazit und Ausblick	120
4	Bewölkungsgrad und langwellige Abstrahlung	122
4.1	Verfahren	122
4.2	Methode und Auswertung der Himmelsaufnahmen	124
4.2.1	Bildanalysesoftware	124
4.2.2	Bildanalyse von Tagaufnahmen	124
4.3	Problematiken bei einer automatisierten Bildanalyse	126
4.3.1	Problematik bei der Bildaufnahme	126
4.3.2	Problematik bei der automatischen Bildanalyse	128
4.4	Vergleich der Bewölkungsgrade nach zwei verschiedenen Methoden	129
5	Beschreibung der im Projekt untersuchten Kollektoren	132
5.1	Im Projekt untersuchte Thermie-Kollektoren	132
5.1.1	Thermie-Kollektor T1: Kunststoffkollektor	133
5.1.2	Thermie-Kollektor T2-06: Alu-Sandwichkollektor 6mm	134
5.1.3	Thermie-Kollektor T2-10: Alu-Sandwichkollektor 10mm	135
5.1.4	Thermie-Kollektor T3: Edelstahl-Alu-Sandwichkollektor	136
5.2	Im Projekt untersuchte PVT-Kollektoren	138
5.2.1	PVT-Kollektor PVT 1: PV-Standardmodul + Kunststoffabsorber, im Rahmen geklemmt	139
5.2.2	PVT-Kollektor PVT 2: PV-Standardmodul + Luftspalt + Kunststoffabsorber	141
5.2.3	PVT-Kollektor PVT 3, home+ 2.0: Glas-PV-Modul + Rohr-/ Finnenabsorber, Klebung	143
5.2.4	PVT-Kollektor PVT 4, ecolar: Glas-PV-Glas-Modul + K unststoffabsorber, geklemmt und angepresst	146

5.2.5	PVT-Kollektor PVT 5: PV-Folien-Modul + Kunststoffabsorber, Klebung und Rahmeneinfassung	149
5.2.6	PVT-Kollektor PVT 6: PV-Folien-Modul + Metallabsorber, Klebung	151
5.2.7	PVT-Kollektor PVT 7, home+: Glas-PV-Glas-Modul + Rohr-/Finnenabsorber, Klebung	153
5.2.8	PVT-Kollektor PVT 8: PV-Standardmodul + Kunststoffabsorber, geklemmt und angepresst	155
5.3	Markterhältliche PVT-Kollektoren	156
5.3.1	Vergleichskollektor V1, des Solarzentrum Allgäu	156
5.3.2	Vergleichskollektor V2oD	157
5.3.3	Vergleichskollektor V2mD	158
5.3.4	Vergleichskollektor V3	158
6	Prüfstand	159
6.1	Planung und Aufbau	159
6.2	Detaillierte Beschreibung	163
6.3	Ablauf der Messungen	166
7	Messungen am Prüfstand	168
7.1	Parameteridentifikation	168
7.1.1	Beschreibung der Parameteridentifikation und Testmethode	168
7.1.2	Beschreibung der multilinenen Regressions-Methode	169
7.1.3	Voraussetzungen, unter denen die Messungen durchgeführt wurden und Wetterbedingungen	170
7.1.3.1	Messreihen	170
7.1.3.2	Darstellung der Vorlauftemperatur-Treppenfunktion und Wetterbedingungen	171
7.2	Bewertung der Messergebnisse	172
7.2.1	Bewertung der gemessenen Parameter der Thermie-Kollektoren	172
7.2.2	Parameteridentifikation der PVT-Kollektoren mit und ohne Betrieb der Photovoltaik	178
7.2.3	Bewertung der gemessenen Parameter der ungedeckten PVT-Kollektoren	181
7.2.4	Bewertung der ermittelten Kennlinien	187
7.2.4.1	Kollektorkennlinien für den Heizfall	187
7.2.4.2	Kollektorkennlinien für den Kühlfall	190
8	Simulationsbasierte Vergleichsuntersuchung von PVT-Kollektoren mit einer Luft/Wasser Wärmepumpe	192
8.1	Untersuchung Systemintegration	182
8.1.1	Untersuchte Anlagenkonzepte	182
8.1.2	Das Gebäude- und Anlagenmodell	194

8.1.3	Ergebnisse	205
8.1.4	Zusammenfassung und Fazit	215
8.2	Wirtschaftlicher Vergleich der Anlagensysteme im Betrieb	217
8.2.1	Rechenmethode	217
8.2.2	Ergebnisse	221
8.2.3	Auswertung wirtschaftlicher Vergleich	225
8.3	Primärenergiebedarf und CO₂ Emissionen in der Betriebsphase des Anlagensystems mit PVT-Kollektoren	226
8.3.1	Rechenmethode	226
8.3.2	Ergebnisse und Auswertung	227
9	Umweltwirkungen eines PVT-Prototypen in der Herstellung und im Betrieb	230
9.1	Umweltwirkung des Prototypen PVT3 in der Herstellung	231
9.1.1	Untersuchungsrahmen (Goal and Scope)	232
9.1.2	Berechnungsgrundlagen	233
9.1.3	Sachbilanz der Aufrüstung; Absorber und stärkere Glasabdeckung	233
9.1.4	Sachbilanz und Wirkungsabschätzung des PV-Moduls	236
9.1.5	Wirkungsabschätzung und Ressourceneinsatz für die Aufrüstung und Gesamtauswertung	237
9.2	Amortisationszeiten im Betrieb der eingebrachten energetischen Ressourcen und Emissionen während der Herstellung	241
10	System- und Konstruktionsoptimierung am home⁺	244
10.1	Analyse und Optimierung der konstruktiven und gestalterischen Einbindung der PVT-Kollektoren in die Gebäudehülle	244
10.1.1	Analyse der gestalterischen und konstruktiven Einbindung	247
10.1.2	Optimierung der gestalterischen Einbindung durch alternative Kollektoren	250
10.2	Analyse und Optimierung der hydraulischen Konzeption im home⁺	253
10.2.1	Hydraulische Konzeption und Instandhaltungsmaßnahmen: Darstellung der Problematik	254
10.2.2	Analyse der Schwachstellen und Anpassung der Regelungstechnik der Anlage	256
10.2.3	Analyse der baulichen Substanz	258
10.2.4	Aktueller Stand home ⁺	259
11	Zusammenfassung	260

	Literaturverzeichnis Teil 2	268
	Abbildungsverzeichnis	277
	Tabellenverzeichnis	288
	Anlagen	291
A:	Anhang zum Kapitel 1.4 ‚Marktstudie zu PVT-Kollektoren‘	291
B:	Anhang zum Kapitel 3.4 ‚Parameterstudie zu gebäudeintegrierten PVT-Kollektoren‘	295
C:	Anhang zum Kapitel 7 ‚Messungen am Prüfstand‘	311
D:	Anhang zum Kapitel 8 ‚Simulationsbasierte Vergleichsuntersuchungen von PVT-Kollektoren‘	320
E:	Anhang zum Kapitel 9 ‚Umweltwirkungen eines PVT-Prototypen in der Herstellung und im Betrieb‘	329
F:	Anhang zum Kapitel 10 ‚System- und Konstruktionsoptimierung am home+‘	335