

Einsatzbereiche von Wärmepumpensystemen mit PVT-Luft-Sole-Kollektoren sowie klassischen PVT-Kollektoren

Ulrich Leibfried¹⁾, Hans Stork¹⁾, Stephan Fischer²⁾, Sebastian Asenbeck²⁾, Thomas Schabbach³⁾

¹⁾ Consolar Solare Energiesysteme, Gewerbestr. 7, D-79539 Lörrach

Tel.: 07621/42228-30, Email: anfragen@consolar.de, Internet: www.consolar.de

²⁾ Universität Stuttgart, IGTE, Pfaffenwaldring 6, D-70569 Stuttgart

Tel.: 0711/685-63231, E-Mail: stephan.fischer@igte.uni-stuttgart.de

³⁾ Hochschule Nordhausen, in.RET, Weinberghof 4, D-99734 Nordhausen

Tel.: +49 3631 420 458, E-Mail: Schabbach@hs-nordhausen.de

Einleitung

Neben Erdreich, Grundwasser und Luft als Energiequelle für Wärmepumpen werden in den letzten Jahren auch PVT-Kollektoren zur thermischen Versorgung von Wärmepumpen eingesetzt. PVT-Kollektoren wandeln zum einen die Solarstrahlung in elektrische Energie um, zum anderen wird der in Wärme umgewandelte Teil der Strahlung genutzt. Bei klassischen unbedeckten PVT-Kollektoren ist hierfür auf der Rückseite des PV-Moduls ein flacher i. d. R. flächiger Wärmeübertrager aufgebracht. Die Kollektoren werden üblicherweise in Verbindung mit einer weiteren Niedertemperatur-Quelle, z. B. einer Erdsonde betrieben, und können dabei im Sommer diese zweite Quelle regenerieren.

Neu am Markt sind seit ein paar Jahren sogenannte PVT Luft-Sole-Kollektoren, die als alleinige effiziente Wärmequelle von Wärmepumpen genutzt werden [1]. Damit sind beispielsweise im dicht bebauten städtischen Bereich effiziente Wärmepumpensysteme realisierbar, was bislang aus Platzgründen oder wegen Schallemissionen (Luft-Wärmepumpe) kaum möglich war. Diese Systeme können zukünftig eine wichtige Säule bei der Dekarbonisierung von Städten bilden. Damit PVT Luft-Sole-Kollektoren als alleinige Wärmequelle eine Wärmepumpe versorgen können, nutzen sie nicht nur die vom PV-Modul nicht in elektrische Energie umgewandelte solare Strahlungsenergie, sondern entziehen zusätzlich auch der Luft Wärmeenergie. Hierfür benötigen Sie einen leistungsfähigen Umgebungsluft-Wärmeübertrager, damit die Wärmeträgerflüssigkeit bei nicht vorhandener Solarstrahlung nahe an die Temperatur der Umgebungsluft aufgewärmt werden kann.

Für solche PVT Luft-Sole-Kollektoren mit hohem Wärmeübertragungsvermögen zur Luft wurden im Projekt *SoAirHX* entsprechende Prüfnormen erarbeitet [2], da die für solarthermische und klassische PVT-Kollektoren geltenden mathematischen Beschreibungen und Prüfvorgaben für diesen Kollektortyp nicht vollständig geeignet sind. Unabhängig von diesen Prüfverfahren haben PVT Luft-Sole-Kollektoren ihre Leistungsfähigkeit und Effizienz bereits in über 5000 teilweise wissenschaftlich begleiteten Systemen unter Beweis gestellt, so dass sie eine erprobte Technologie mit zunehmender Relevanz darstellen.

PVT-Wärmepumpensysteme verbrauchen bei korrekter Dimensionierung und Systemkonfiguration deutlich weniger Strom als Luft-Wärmepumpen [3]. In diesem Beitrag werden die Möglichkeiten und Grenzen von Wärmepumpensystemen mit PVT Luft-Sole-Kollektoren sowie mit klassischen PVT-Kollektoren untersucht.

Klassifizierung PVT Luft-Sole-Kollektor mit neuer ISO-Norm

Zur Unterscheidung von u. a. PVT Luft-Sole-Kollektoren und klassischen PVT Kollektoren wurde in der ISO-Norm 9806:2025 folgende Definition aufgenommen:

Die Bezeichnung von Sonnenkollektoren bzw. Umgebungsluftwärmeübertragern bzw. Luft-Sole-Kollektoren, die sowohl die Solarstrahlung als auch die thermische Energie der Umgebungsluft als Wärmequelle z. B. für Wärmepumpen nutzen und bei einer Windgeschwindigkeit von $u = 1.5 \text{ m/s}$ einen $U\text{-Wert} \geq 30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ aufweisen, sind:

- Solarthermischer Luft-Sole-Kollektor (en: Solar thermal air-brine-collector)
- PVT Luft-Sole-Kollektor (en: PVT air-brine-collector)

$$U = a_1 + a_3 u \geq 30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Die Kennwerte zur Berechnung des U-Werts müssen nach ISO 9806 bestimmt werden.

Luft-Sole Kollektoren wurden im Rahmen des Projekts *SoIAirHX* hinsichtlich ihres Aufbaus gemäß Abbildung 1 klassifiziert.

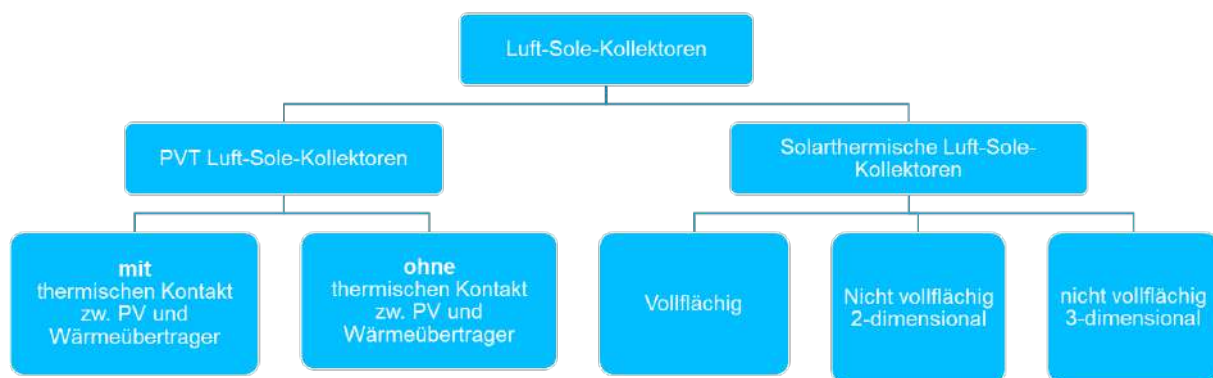


Abbildung 1: Klassifizierung Luft-Sole Kollektoren hinsichtlich deren Aufbau

Grundsätzlich können Luft-Sole Kollektoren in zwei Hauptkategorien unterteilt werden: Solarthermische Luft-Sole Kollektoren (ohne PV) und PVT Luft-Sole Kollektoren. Beide Formen von Luft-Sole Kollektoren nehmen Wärme aus der Umgebung auf und erwärmen so die im Inneren des Luft-Sole Kollektors strömende Sole. Eine zusätzliche Erwärmung erfolgt, wenn der eingesetzte Wärmeübertrager von der Sonne bestrahlt wird. Die erwärmte Sole dient als Wärmequelle für eine nachgeschaltete Wärmepumpe, die beispielsweise zu Heizzwecken in einem Wohngebäude verwendet werden kann.

Neben der Eignung als alleinige Wärmequelle einer Wärmepumpe zeichnen sich (PVT-) Luft-Sole-Kollektoren dadurch aus, dass sie auch zur Gebäudekühlung genutzt werden können: Die Rückkühlung, d. h. die Abgabe der Abwärme der Wärmepumpe erfolgt bei reinen PVT-Kollektoren über nächtliche Abstrahlung der Kollektoren, die allein aber nicht ausreichen würde [4]. Bei PVT Luft-Sole-Kollektoren wird die Kühlabwärme zusätzlich v. a. über den Wärmeübertrager des Luft-Sole Kollektors abgegeben und dies kann auch tagsüber geschehen [5].



Abbildung 2: PVT-Kollektor mit flachem Rollbond-Wärmeübertrager auf der Rückseite [6]

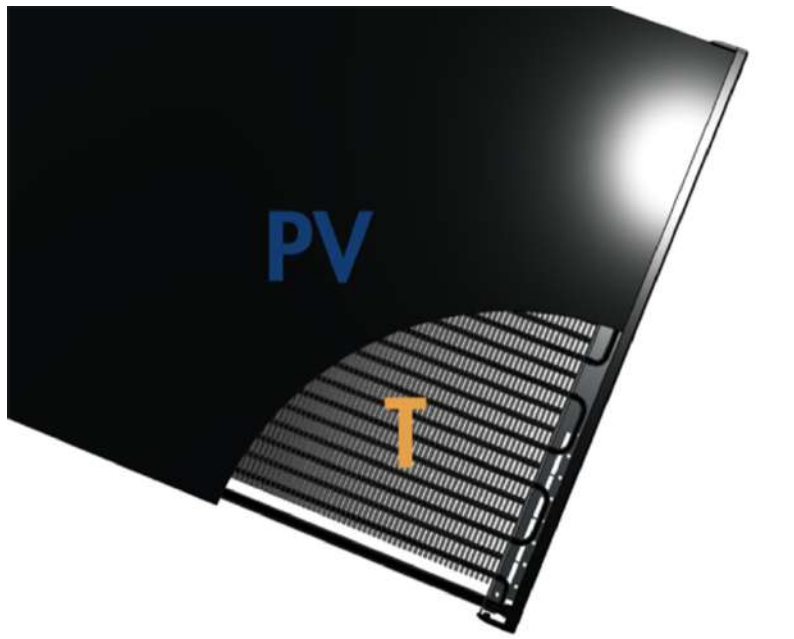


Abbildung 3: PVT Luft-Sole-Kollektor mit großflächigem Lamellen-Wärmeübertrager auf der Rückseite (Bild: Consolar)

Einfluss des Kollektoraufbaus auf Eignung von PVT Luft-Sole-Kollektoren als alleinige Quelle für Wärmepumpen

Das Wärmeübertragungsvermögen zur Luft wird durch den Wärmedurchgangswert (U -Wert) wesentlich beeinflusst. Es gilt für den übertragenen Wärmestrom $\dot{Q}_C$ zwischen der Umgebungsluft mit der Temperatur T_L und der Sole in den Fluidrohren mit der mittleren Temperatur T_C gilt:

$$\dot{Q}_C = U \cdot A_{br} \cdot (T_L - T_C) \quad (1)$$

Damit der Wärmestrom $\dot{Q}_C$ von der Umgebungsluft in Richtung Kollektor fließen kann, muss die Kollektortemperatur tiefer als die Lufttemperatur sein ($T_C < T_L$).

A_{br} ist hier die Bruttofläche des Kollektors, die dem technischen Datenblatt zu entnehmen ist. Der U -Wert berücksichtigt den konvektiven Wärmeübergang zwischen Sole und Wärmeübertragerinnenseite, die Wärmeleitung in den Wärmeübertragermaterialien und den konvektiven

Wärmeübergang zwischen Wärmeübertrageraußenseite und Luft. Der Wärmeübergangskoeffizient zur Luft ist sehr gering, daher wird bei PVT Luft-Sole-Kollektoren oft die Außenfläche durch Rippen/Finnen vergrößert. Bei Eisbildung an der Wärmeübertragerstruktur tritt ein zusätzlicher Wärmeleitwiderstand auf, der i. d. R. den U -Wert vermindert.

Wenn die Wärmepumpe bei stationärem Betrieb und ohne solare Einstrahlung dem Kollektor den Wärmestrom $\dot{Q}_C$ entzieht, stellt sich eine vom U -Wert abhängige mittlere Soletemperatur T_C ein,

$$T_C = T_L - \frac{\dot{Q}_C}{U \cdot A_{br}} \quad (2)$$

Geringe U -Werte, führen – wenn die Sonne nicht (ausreichend) scheint – zu großen Temperaturunterschieden zwischen PVT-Kollektor und Umgebungsluft. Bei Wetter mit feuchter Luft und Temperaturen etwas über dem Gefrierpunkt führt dieser Temperaturunterschied zu Kollektortemperaturen deutlich unter null und damit starker Vereisung, mit der Folge, dass der U -Wert durch die Eisbildung weiter sinkt. Die Wärmepumpe schaltet schließlich ab, wenn die Soletemperatur die minimale Eintrittstemperatur (oft -15 °C) unterschreitet.

Die Eisbildung findet nicht nur auf den rückseitigen Wärmeübertragerflächen statt, sondern gleichzeitig auch auf der Vorderseite des PVT-Kollektors. Eine zweite Folge der Eisbildung ist daher der Rückgang des photovoltaischen Ertrags aufgrund erhöhter Reflexion. Dies ist ein gegenläufiger Effekt zu dem Bestreben, gerade im Winter, wenn der Strombedarf einer Wärmepumpe am größten ist, einen möglichst hohen Anteil über die lokale Stromproduktion zu decken. Neben der thermischen und elektrischen Leistungsreduktion durch Vereisung kann durch die Bildung von Eis an der Vorderseite die Anwendung eingeschränkt werden: aus kondensierender Luftfeuchtigkeit können sich Eisplatten bilden, die, wenn sie abrutschen, zu Personengefährdung führen können.

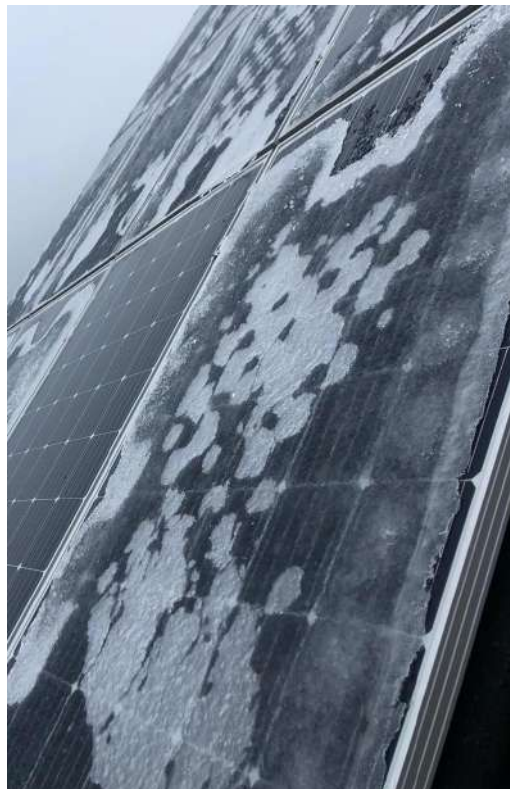


Abbildung 4: Standard-PVT-Kollektor mit flächiger Eisbildung auf der PV-Seite, die als geschlossene Eisplatte abrutscht (Foto: Consolar)

Einen starken Einfluss auf diesen Effekt hat der Kollektoraufbau: Wärmeübertragerflächen, die nicht flächig mit dem PV-Laminat verbunden sind, sondern sich in die dritte Dimension erstrecken sind wesentlich unanfälliger gegenüber vorderseitiger Vereisung. Derartige Konzepte verfügen entweder über eine reduzierte thermische Ankopplung des Wärmeübertragers an das PV-Modul oder einen vom PV-Modul getrennten Aufbau (vergleiche Klassifizierung oben).

Ein Beispiel für den ersten Fall ist der SOLINK PVT-Wärmepumpenkollektor, bei dem das Wärmeübertragerrohr mit der tiefsten Temperatur nicht direkt auf dem PV-Laminat aufliegt, sondern über Lamellen damit verbunden ist, siehe Abbildung 3.

Ein Beispiel für einen thermisch und mechanisch getrennten Aufbau von Wärmeübertrager und PV-Modul ist der AluKol-Kollektor von Technische Bauteile Eberle GmbH (TBE), auf dem ein PV-Modul montiert werden kann, siehe Abbildung 5.



Abbildung 5: AluKol Solarthermischer Sole-Luft-Kollektor, links mit in Abstand montiertem PV-Laminat, rechts ohne PV-Laminat (Foto: TBE)

Untersuchungen in Klimakammer

An der Hochschule Nordhausen wurde in einer vergleichenden Arbeit an mehreren PVT-Kollektoren untersucht, wie sich das Wachstum von Frost unter winterlichen Bedingungen auf die thermische Kollektorleistung auswirkt. Die von der Hochschule Nordhausen vorgenommenen Versuche ([7], [8]) fanden im Inneren einer Klimakammer statt, um konstante Umgebungsbedingungen hinsichtlich Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit zu erzielen. Es wurden drei unterschiedliche PVT-Kollektoren untersucht:

Tabelle 1: In der Klimakammer untersuchte Kollektoren

Interne Bezeichnung	C22	C31	C41
Bauart	PVT Luft-Sole-Kollektor	PVT-Kollektor	PVT-Kollektor
Aufbau Wärmeübertrager	großflächiger Lamellen-Luft-Wärmeübertrager, linienförmig mit PV-Laminat verbunden, Cu-Rohrmäander innerhalb der Lamellen	Alu-Absorberblech flächig mit PV-Laminat verbunden, mit auf Blech aufgeschweißtem Alurohrmäander	Berippte Alu-Extrusionsprofile flächig mit PV-Laminat verbunden, Cu-Rohre in Extrusionsprofil eingelegt

Die Kollektoren wurden jeweils auf einem Rahmengestell in einer Neigung von 30° zur Horizontalen montiert, um die Montagesituation auf einem Schrägdach zu simulieren. Eine Auffangvorrichtung in 30 cm Abstand zum Kollektor lässt Kondensat sowie Schmelzwasser zur späteren Massebestimmung in einen Auffangbehälter abfließen.

Für die Erfassung der Temperaturen wurden Standard-Widerstandsthermometer PT-100 verwendet (Position nach), für den Volumenstrom der Kollektorkreisflüssigkeit (Tyfocor LS) Mehrstrahl-Flügelradzähler. Die Messwertaufnahme (10-s-Einzelwerte) erfolgte über jeweils 24 Stunden mit einem Digitalmultimeter.



Abbildung 6: Messaufbau in der Klimakammer

Bei allen Testreihen wurde in der Klimakammer eine konstante Umgebungslufttemperatur ($T_L = 7^\circ\text{C}$) sowie eine gleichbleibende Luftfeuchte von $\varphi_L = 90\%$ realisiert. Um die Solltemperatur im gesamten Innenvolumen der Klimakammer gleichmäßig zu halten, wurde die Luft ständig bewegt. Aufgrund der so entstehenden Turbulenzen konnte keine Messungen der Luftgeschwindigkeiten in Kollektornähe durchgeführt werden.

Die Entzugsleistung einer Wärmepumpe wurde mit Hilfe eines sehr präzisen Laborthermostaten simuliert. Dazu wurde angenommen, dass die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequellenvorlauf und -rücklauf $\Delta T_c = T_{co} - T_{ci}$ immer konstant sei. Entsprechend gibt der Laborthmostat den untersuchten Kollektoren eine Eintrittstemperatur vor, die um $\Delta T_c = 4\text{ K}$ unterhalb der bei den aktuellen Bedingungen erzielten Austrittstemperatur liegt. Bei konstanter (elektrischer) Pumpenleistung steigt mit abnehmender Temperatur die Viskosität des Fluids, entsprechend sinkt der gemessene Volumenstrom und auch die Entzugsleistung.

Um eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu erreichen, wurde als Abszisse die dem Testkollektor jeweils entnommene Wärmemenge berechnet:

$$Q_{Ent}(t) = \int_{t=0}^t \dot{Q}_c(t) dt = \int_{t=0}^t \{\rho(T_c) \cdot c_p(T_c) \cdot \dot{V}_c(t) \cdot (T_{co} - T_{ci})\} dt \quad (3)$$

Aus der zeitabhängigen Entzugsleistung $\dot{Q}_c(t)$ wurde auch der U -Wert nach folgender Gleichung bestimmt,

$$U(t) = \frac{\dot{Q}_c(t)}{(T_L - T_c) \cdot A_{br}} \quad (4)$$

Abbildung 7 zeigt für die drei untersuchten Kollektoren den Verlauf des U -Wertes in Abhängigkeit von der entnommenen Wärmemenge, $U = U(Q_{Ent})$. Die Messungen endeten jeweils mit Erreichen der minimalen Thermostattemperatur von $T_{min} = -20^\circ\text{C}$.

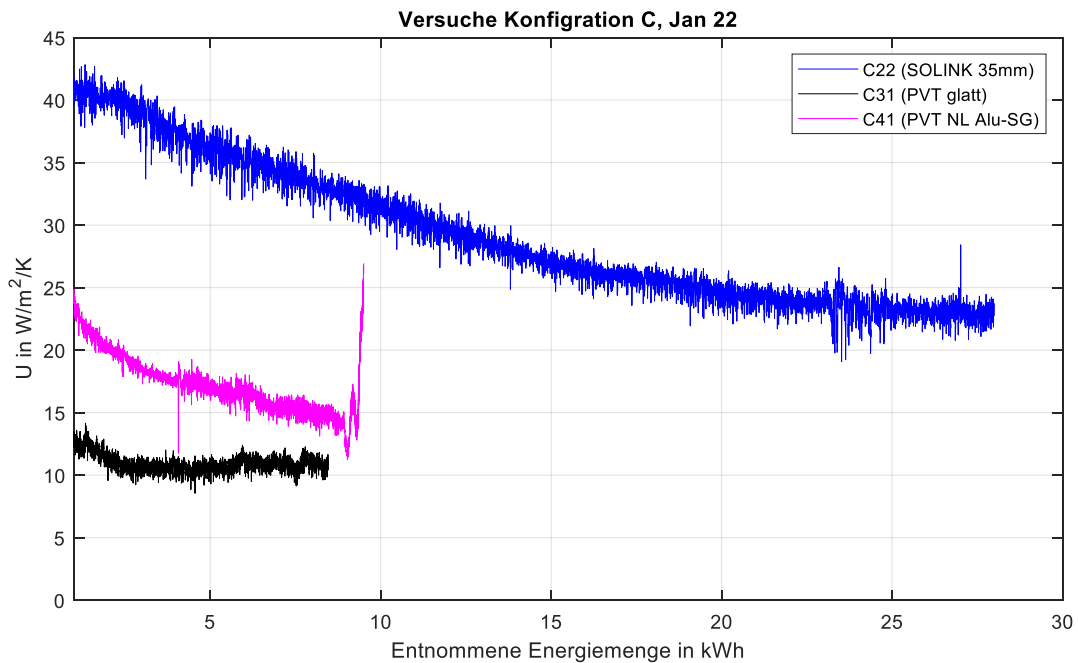


Abbildung 7: Verlauf des U -Wertes bei Energieentnahme für die 3 untersuchten Kollektoren. Im Laufe der Zeit nimmt der U -Wert ab, weil mit zunehmender Viskosität der Sole der Thermostat die Leistung herunter regelt

Deutlich sichtbar in Abbildung 7 ist, dass der Kollektor mit dem Rippenrohr-Wärmeübertrager (C22, SOLINK) im Vergleich mit den beiden anderen Kollektoren über einen mehr als doppelt so hohen U -Wert verfügt und damit bei gleicher Entzugsleistung der Wärmepumpe eine höhere Fluidtemperatur T_c aufweist, vergleiche Gleichung (2).

Entsprechend kann der Kollektor C22 bis zum Abschalten der Wärmepumpe bei Erreichen der Minimaltemperatur auch eine erheblich größere Energiemenge Q_{Ent} bereitstellen.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Kondensat- bzw. Eisbildung auf den Vorder- und Rückseiten der drei untersuchten Kollektoren (C22, C31 und C41) zum Start der Messungen sowie nach 2, 4 und 6 h Wärmeentzug.

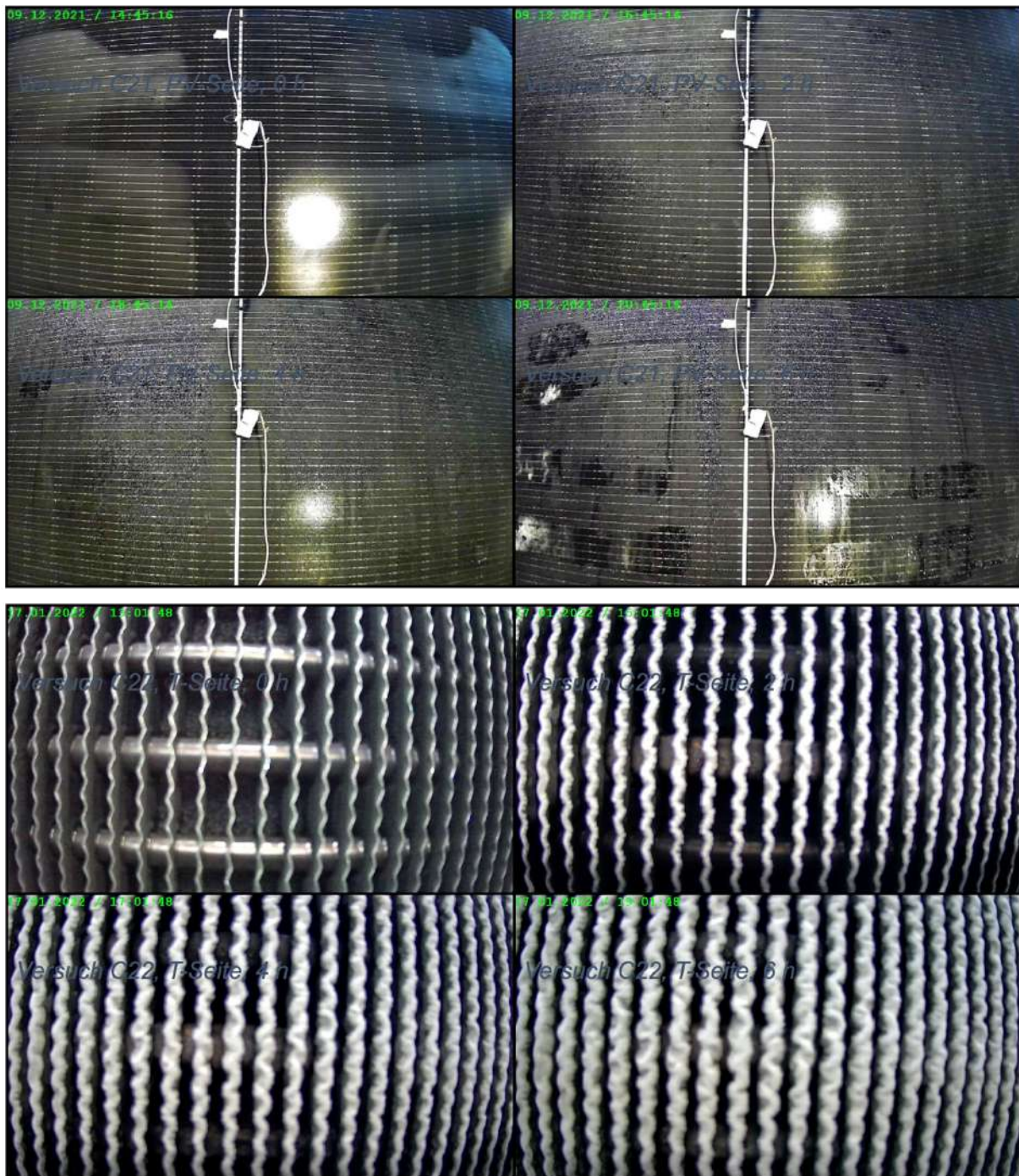


Abbildung 8: PVT Luft-Sole-Kollektor (SOLINK, C22) zu Beginn, nach 2, 4 und 6 Stunden in der Klimakammer. Die PV-Oberfläche vereist bis dahin praktisch nicht. Eisbildung findet an den Außenkanten der Rippen statt, während der innere Bereich (auf den Fotos kaum sichtbar) eisfrei bleibt.

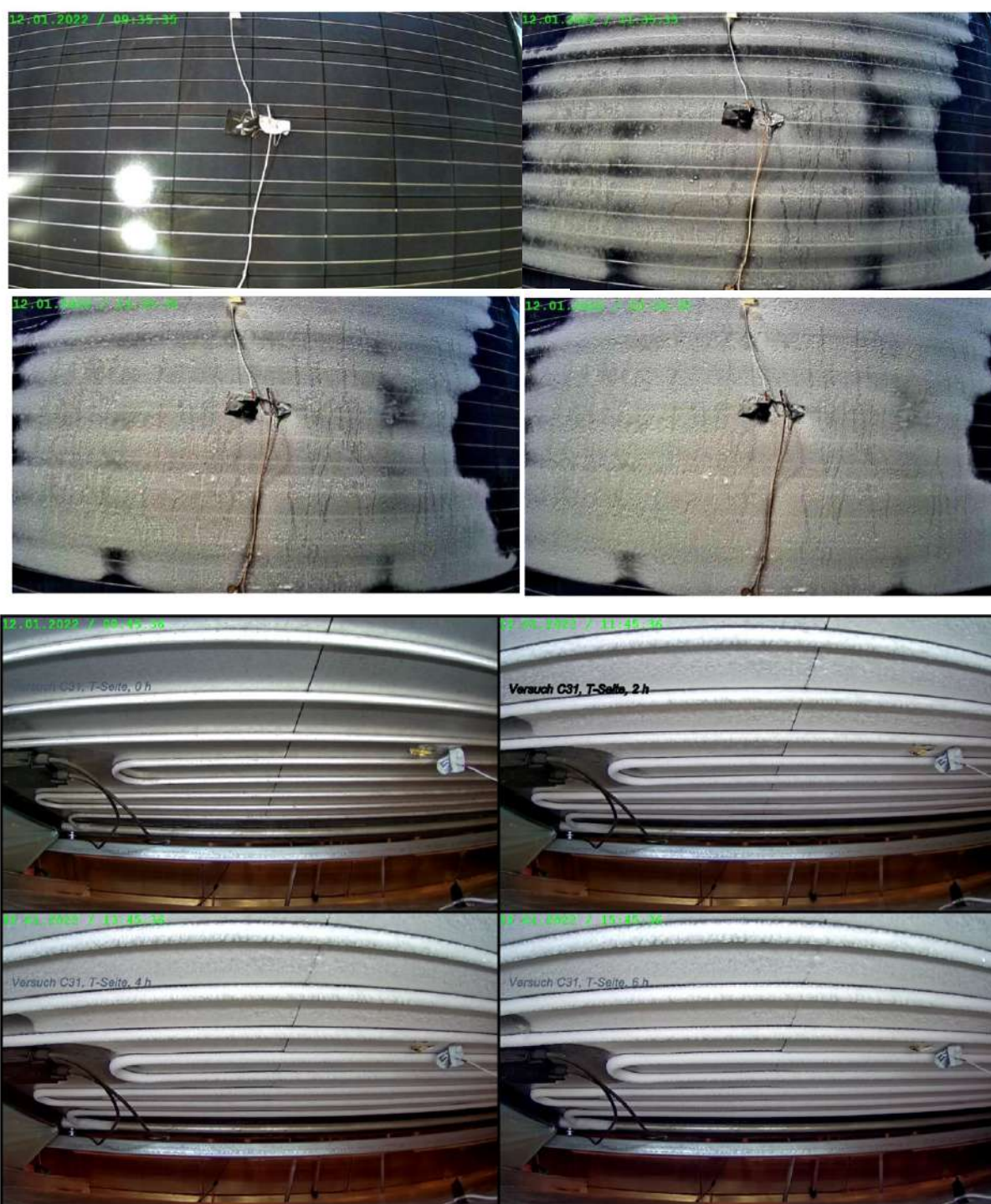


Abbildung 9: PV-Seite des flachen PVT-Kollektors zu Beginn, nach 2, 4 und 6 Stunden in der Klimakammer. Bereits nach 2 Stunden ist die PV-Fläche von Eis bedeckt (oben). Der Wärmeübertrager (unten) ist aus einem Rohrmäander, das auf einem flachen Aluminium-Blech aufgeschweißt ist, aufgebaut. Auf der gesamten Oberfläche bildet sich Eis.

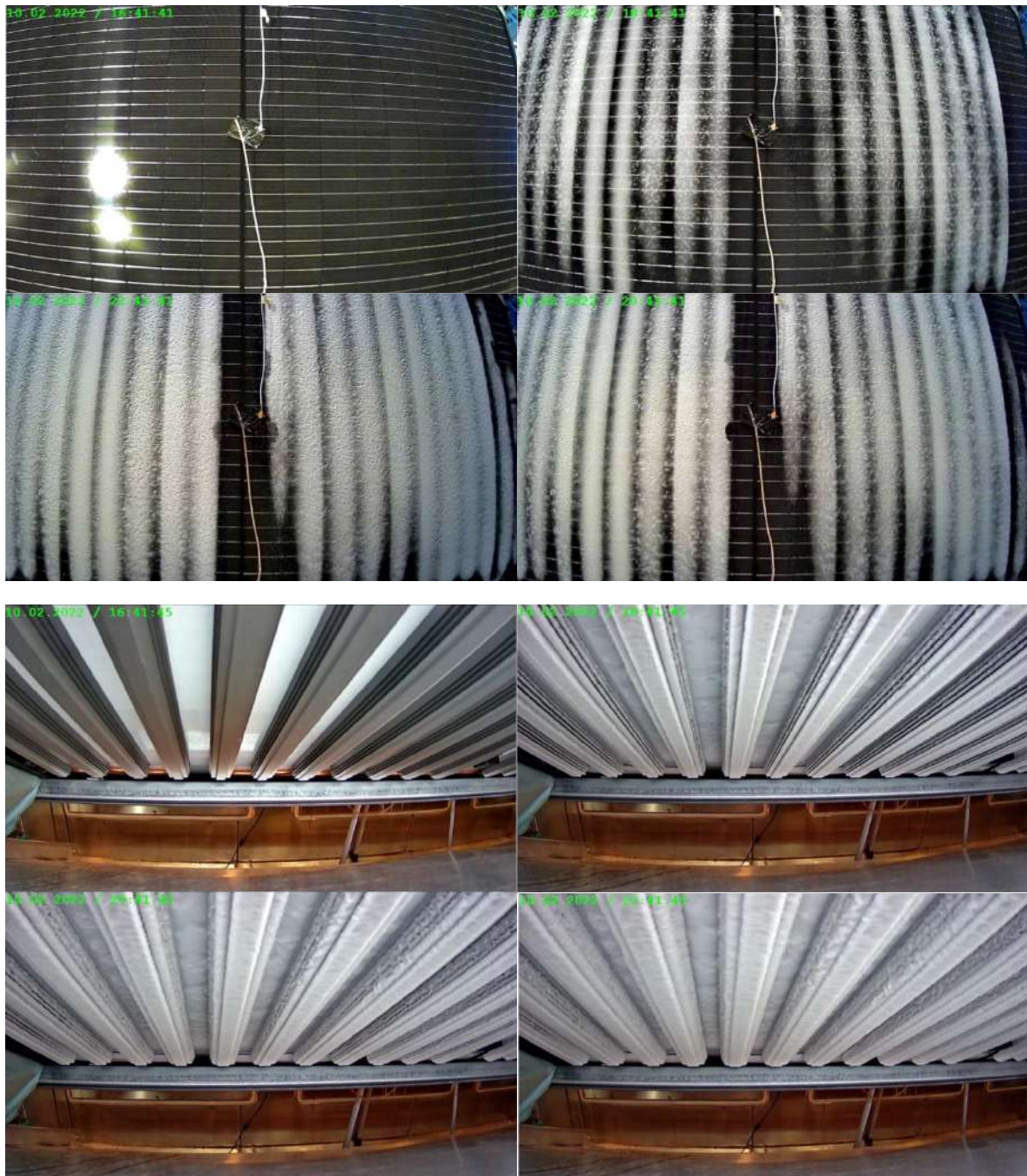


Abbildung 10: PVT-Kollektors mit Extrusionsprofilen als Wärmeübertrager zu Beginn, nach 2, 4 und 6 Stunden in der Klimakammer. Bereits nach 2-4 Stunden ist die PV-Fläche von Eis bedeckt (oben). Nach 4 Stunden sind die Zwischenräume zwischen Rippen in dem Extrusionsprofil weitgehend durch Eis verschlossen.

Einfluss von Eis auf die Wärmeübertragung eines PVT Luft-Sole-Wärmeübertragers

Bei allen drei untersuchten Kollektoren vermindert sich der U-Wert mit zunehmender Wärmeentnahme wegen des mit zunehmender Viskosität abnehmenden Volumenstroms und innerem Wärmedurchgangskoeffizienten, siehe Abbildung 7. Die an der Hochschule Nordhausen durchgeführte physikalische Modellierung der Vorgänge bei dem Kollektor C22 (PVT Luft-Sole-Kollektor SOLINK) zeigt, dass die Reduktion des U-Werts primär durch den abnehmenden Sole-Durchfluss und innerem Wärmedurchgangskoeffizienten verursacht wird, und nicht durch Eiskeilbildung [10]. Die Ursache hierfür ist, dass bei der großen Wärmeübertragungsfläche

zur Luft der thermische Widerstand durch eine Eisschicht im Verhältnis zu den dominierenden Widerständen Luft-Wärmeübertrager bzw. Luft-Eis und Wärmeübertrager-Sole gering ist. Demensprechend sind bei einer Sole-Pumpe mit Regelung eines konstanten Massenstroms ein schwächerer Abfall der U -Werte zu erwarten.

Vergleich: Vereisungseffekte bei Luft-Wärmepumpen

Im Unterschied zu PVT Luft-Sole-Kollektoren haben Luft-Wärmepumpen ein stark ausgeprägtes Vereisungsverhalten: Zum einen ist der Abstand der Wärmeübertrager-Lamellen wesentlich geringer, zum anderen wird durch den Ventilator permanent frische Luft mit der Feuchtigkeit gemäß der Wetterbedingungen geblasen.

Abbildung 11 zeigt den Lamellen-Wärmeübertrager einer Luft-Wärmepumpe während des Enteisungsvorgangs [9].



Abbildung 11: Luftwärmepumpe mit Vereisung: der Zwischenraum zwischen den Lamellen ist zu Beginn des Abtauvorgangs vollständig durch Eis verschlossen.

In Fachforen [10] dokumentieren Nutzer bei kritischen Wetterbedingungen (feucht, knapp über dem Gefrierpunkt) Abtauvorgänge bis zu alle 30 bis 90 Minuten. Das Abtauen kostet Energie und unterbricht in dieser Zeit die Energiezufuhr der Wärmepumpe für die Heizung. Dies ist eine wesentliche Ursache für die i. d. R. geringeren Arbeitszahlen von Luft-Wärmepumpen im Vergleich zu mit PVT Luft-Sole-Kollektoren betriebenen Sole-Wärmepumpen.

Bei PVT Luft-Sole-Kollektoren mit Lamellen-Wärmeübertrager kondensiert und gefriert die Luftfeuchtigkeit am äußeren Bereich der Lamellen. Luft, die weiter nach innen dringt, ist dann trockener, so dass der Lamellenbereich in Richtung PV-Laminat immer weniger bis kein Raureif mehr ansetzt. In der Praxis ist der Effekt auf die Wärmeübertragung so gering, dass bei Paralleldach-Montage im Gegensatz zu Luftwärmepumpen kein Enteisungsvorgang nötig ist, wie Untersuchungsergebnissen des IGTE bestätigen: Im Rahmen des von der DBU geförderten Projekts SOLINK wurde ein PVT-Luft-Sole-Kollektorfeld mit 9 SOLINK-Kollektoren während 18 Monaten im Außentestfeld untersucht. Hier konnte keine signifikante Reduzierung des Wärmeübertragungsvermögens durch die Eiskbildung am Wärmeübertrager beobachtet werden (Reduzierung kleiner 5 %) [11].

Für Standard-PVT-Kollektoren wurde diese Untersuchung nicht durchgeführt. Der Einfluss der Vereisung auf den U -Wert und letztendlich den Jahresertrag hängt vom Aufbau des Wärmeübertrages ab und kann nicht generell angegeben werden. Für diese Effekte gibt es aktuell keine genormte Prüfmethode und die Abbildung in Simulationen ist nicht möglich.

Systemvergleich

Für einen Vergleich von PVT-Wärmepumpensystemen wurden zunächst ohne Berücksichtigung der Vereisungseffekte mit Polysun Simulationen für Einfamilienhaus-Referenzbedingungen durchgeführt:

- Jahreswärmebedarf Heizung: 7.500 kWh

- Jahreswärmebedarf Warmwasser: 2.550 kWh
- Standort Würzburg
- Abschalten der Wärmepumpe bei Soleeintrittstemperatur $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabelle 2: Kollektorkennwerte für Simulationsvergleich

	PVT Luft-Sole-Kollektor	Standard-PVT-Kollektor flach
U-Wert bei einer Windgeschwindigkeit $u = 1,5\text{ m/s}$	31 W/(m ² K)	16 W/(m ² K)
Konversionsfaktor $\eta_{0,b}$	49,8 %	58,4 %

In Abbildung 12 sind die erreichbare Jahresarbeitszahlen (JAZ) dargestellt, die bei unterschiedlichen Kollektorflächen mit den beiden Kollektortypen jeweils erreicht werden. Die Jahresarbeitszahl nach VDI 4650-1 bezeichnet Verhältnis der von Wärmepumpe und Elektroheizstab gelieferten Wärme zur Stromaufnahme von Wärmepumpe und Elektroheizstab.

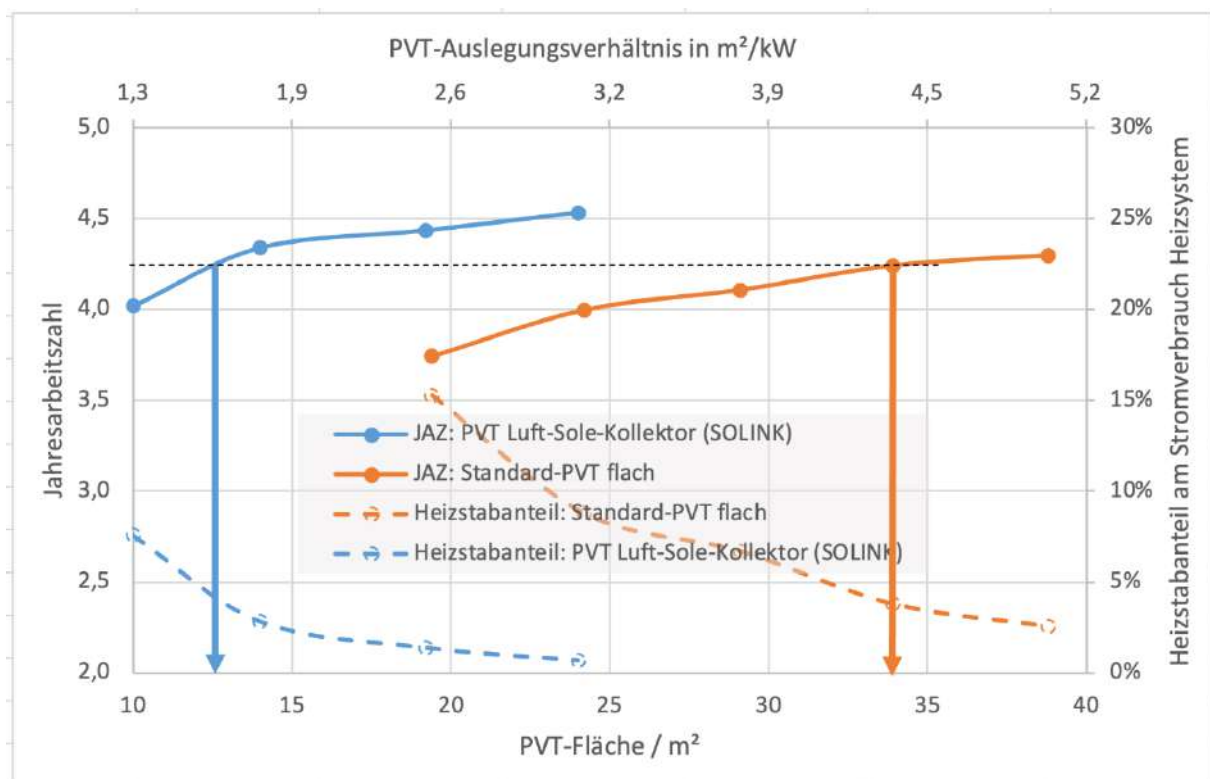


Abbildung 12: Jahresarbeitszahl in Abhängigkeit der Kollektorfläche für einen PVT Luft-Sole-Kollektor und einen flachen Standard-PVT-Kollektor, ohne Berücksichtigung von Vereisungseffekten. Oben aufgetragen ist das Flächenverhältnis von Brutto-Kollektorfläche zur Wärmepumpenleistung bei B0/W35.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem Standard-PVT-Kollektor als einzige Wärmequelle die erreichbare Jahresarbeitszahl begrenzt sind: Auch wenn die Kollektorfläche weiter erhöht wird, steigen die Werte kaum mehr an. Die JAZ fällt ab einer Kollektorfläche unter 30...34 m² ab, was an dem dann in größerem Maß benötigten Elektroheizstab liegt. Bei einer Fläche von 19 m² (Flächenverhältnis von ca. 2,5 m²/kW_{th}) beträgt der Stromverbrauch des Elektroheizstabs 15 % des gesamten Stromverbrauchs des Heizsystems.

Um die gleiche JAZ zu erreichen, wie beim Standard-PVT-Kollektor mit 34 m² werden knapp 13 m² PVT Luft-Sole-Kollektor benötigt. Für die gleiche JAZ, die der Standard-PVT-Kollektor bei 24 m² erreicht, braucht der PVT Luft-Sole-Kollektor ca. 10 m². Das heißt, dass bereits ohne

Vereisungseffekte eine 2,4 bis 2,6-fache Standard-PVT-Kollektorfläche nötig ist, um die gleiche Effizienz zu erreichen.

Um gute Jahresarbeitszahlen auch bei realen Abweichungen von den Simulationsannahmen zu erreichen, würde eine typische Dimensionierungsvorgabe durch den Hersteller im Fall PVT Luft-Sole-Kollektor (SOLINK) bei 15-20 m² liegen [12]. Das empfohlene Flächenverhältnis beträgt 2 – 2,4 m²/kW_{th}, je nach Montageart. Bei Standard-PVT-Kollektoren liegt das empfohlene Flächenverhältnis bei 4 m²/kW_{th} [13].

Aufgrund des größeren Flächenbedarfs und der geringen praktischen Erfahrung mit Standard-PVT-Kollektoren als alleinige Wärmequelle einer Wärmepumpe wird dieser Kollektortyp meist mit einer zweiten Wärmequelle für die Wärmepumpe eingesetzt, d. h. mit Erdsonden, Erdreich-Wärmeübertragern oder auch großen Eisspeichern.

Die zweite Möglichkeit für einen effizienten Systembetrieb ist die Kopplung mit einem zweiten Wärmeerzeuger, also der Hybrid- oder Bivalenzbetrieb z. B. mit einem Gaskessel. Wird weder das eine noch das andere vorgesehen, kann auch ein Elektroheizstab beim Abschalten der Wärmepumpe die Wärmebereitstellung übernehmen, was aber mit hohem Stromverbrauch im Winter und entsprechend hohen Kosten verbunden ist.

Der Vergleich von PVT Luft-Sole-Wärmepumpensystemen mit Luft-Wärmepumpen wurde im Rahmen dieses Projekts nicht durchgeführt. Frühere Untersuchungen [14] zeigen, dass auch die mit PVT Luft-Sole-Kollektoren betriebene Wärmepumpe – verglichen mit typischen Luftwärmepumpen – eine hohe Effizienz aufweist, siehe Tabelle 3.

Tabelle 3: SJAZ und SJAZ_{PVT} aus Vergleichssimulation für Mehrfamilienhaus [14]

	SJAZ	SJAZ_{PVT}
PVT Luft-Sole-Kollektor (95 m ²) in MFH (SOLINK)	4,1	5,4
Standard-Luft-WP mit gleicher PV-Fläche (95 m ²)	3,4	4,0

Zusammenfassung und Fazit

Die hier vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass PVT Luft-Sole-Kollektoren aufgrund ihres geringen Flächenbedarfs, ihrer hohen Effizienz und Geräuschlosigkeit eine wichtige und erprobte Alternative zu den heute hauptsächlich üblichen Luft-Wärmepumpen darstellen.

Klassische PVT-Kollektoren als alleinige Wärmequelle einer Wärmepumpe benötigen für den gleichen Stromverbrauch deutlich größere Kollektorflächen.

PVT Luft-Sole-Kollektoren sind als alleinige Wärmequelle von Sole-Wärmepumpen tausendfach erprobt und wissenschaftlich untersucht. Der Umstand, dass keine zweite Wärmequelle benötigt wird, führt zu wirtschaftlichen Lösungen. Sie sind oft im städtischen Bereich und der Sanierung aufgrund des begrenzten Platzes für das Kollektorfeld alternativlos.

Dank

Ein Teil der vorgestellten Untersuchungen wurde im Forschungsprojekt „Entwicklung eines Prüfverfahrens für Luft-Sole-Kollektoren als Wärmequelle für Wärmepumpen“, Akronym „SolAirHX“, aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz über den Projektträger Jülich (PTJ) unter dem Förderkennzeichen 03TN0046 A gefördert, sowie durch die beteiligten Industriepartner finanziell und inhaltlich unterstützt. Die Autoren danken für die Unterstützung.

Literatur/Quellen

- [1] U. Leibfried, S. Fischer, S. Asenbeck: PVT-Wärmepumpensystem SOLINK – Systemvalidierung und zwei Jahre Praxiserfahrung, Symposium Thermische Solarenergie 2019, Bad Staffelstein
- [2] SolAirHX: Entwicklung eines Prüfverfahrens für solarthermische Luft-Sole-Wärmeübertrager als Wärmequelle für Wärmepumpen, BMWK Förderkennzeichen 03TN0046
- [3] Decarbonizing Heating Supply Systems in Existing Single-family Houses Through PVT - Heat Pump Systems, B. Chhugani, P. Pärtsch, F. Giovannetti, EuroSun 2022
- [4] Ralph Eismann et al., CoolShift Nächtlliche Gebäudekühlung durch natürliche Konvektion und Strahlung mit zeitweiser Unterstützung durch Kältemaschine, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2023
- [5] U. Leibfried, S. Fischer, S. Asenbeck, Kühlen mit PVT-Kollektoren und Wärmepumpe, Symposium Thermische Solarenergie 2020, Bad Staffelstein
- [6] AnafSolar, The H-NRG, http://www.eesy.uk.com/services/micro_03_PVT/ANAF%20SOLAR%20brochure_HNRG.pdf
- [7] Büchi, Simon: Dokumentation der Vereisung von PVT-Kollektoren für den Betrieb mit einer Wärmepumpe. Bachelorarbeit. Hochschule Nordhausen, 2022
- [8] Schabbach, T. Messtechnische Untersuchungen an PVT-Solekollektoren in der Klimakammer und Modellierung. Interner Untersuchungsbericht, Nordhausen, 2022
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=XDf-LBgIDeg>
- [10] <https://www.haustechnikdialog.de/Forum/t/282093/Abtauzyklen-wieviele-habt-ihr-zur-Zeit->
- [11] Schlussbericht zum Förderprojekt „Hocheffiziente, auf intelligenter Verknüpfung von PVT- und Wärmepumpentechnik basierende Wärmeversorgung für Gebäudebestand und Neubau, Phase 2: Entwicklung, Systemintegration, Erprobung und Optimierung der PVT-Wärmepumpen-Versorgungseinheit“, (Kurzbezeichnung SOLINK), 30.09.2020
- [12] Consolar, https://www.consolar.de/de/fragen_und_antworten/ [Zugriff im April 2026]
- [13] Sunmaxx PVT, „Referenzen“: <https://sunmaxx-pvt.com/de/referenzen/>. [Zugriff im März 2026].
- [14] S. Asenbeck, U. Leibfried, H. Stork, S. Fischer: PVT-Wärmepumpen-System - Ein CO₂-neutrales, wirtschaftliches Heizsystem für MFH, tab 10/2021, Gütersloh