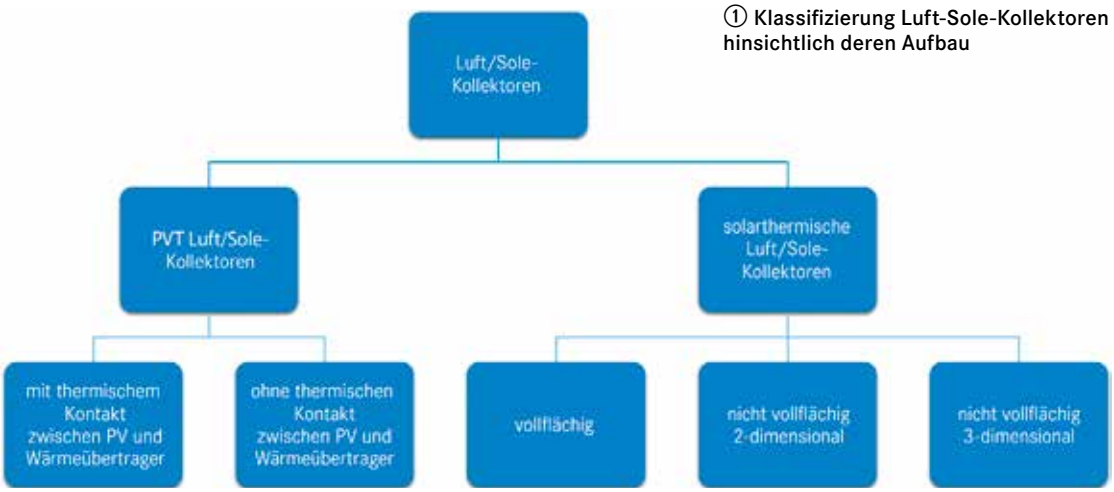
Studie

Einsatzbereiche von Wärmepumpen mit unterschiedlichen PVT-Kollektoren

Neben Erdreich, Grundwasser und Luft als Energiequelle für Wärmepumpen werden in den letzten Jahren verstärkt PVT-Kollektoren eingesetzt. Dabei können so genannte PVT-Luft-Sole-Kollektoren auch als alleinige Wärmequelle dienen. PVT-Wärmepumpensysteme verbrauchen bei korrekter Dimensionierung und Systemkonfiguration deutlich weniger Strom als Luft-Wärmepumpen /3/. Dieser Beitrag betrachtet Möglichkeiten und Grenzen von Wärmepumpensystemen mit PVT-Luft-Sole-Kollektoren sowie mit klassischen PVT-Kollektoren.



① Klassifizierung Luft-Sole-Kollektoren hinsichtlich deren Aufbau

PVT-Kollektoren wandeln die Solarstrahlung in elektrische Energie und machen zugleich den in Wärme umgewandelten Teil der Strahlung nutzbar. Bei klassischen unabgedeckten PVT-Kollektoren ist hierfür auf der Rückseite des PV-Moduls ein meist flächiger Wärmeübertrager aufgebracht. Die Kollektoren werden üblicherweise in Verbindung mit einer weiteren Niedertemperaturquelle, z. B. einer Erdsonde betrieben, und können diese im Sommer auch regenerieren. Seit ein paar Jahren gibt es zudem PVT-Luft-Sole-Kollektoren, die als alleinige effiziente Wärmequelle von Wärmepumpen genutzt werden /1/. Damit sind etwa in dicht bebauten städtischen Bereichen effiziente Wärmepumpensysteme realisierbar, was bislang aus Platzgründen oder wegen Schallemissionen (Luft-Wärmepumpe) kaum möglich war. Diese Systeme können künftig als wichtige Säule bei der Dekarbonisierung von Städten dienen.

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. Dies erfordert einen leistungsfähigen Umgebungsluft-Wärmeübertrager, damit die Wärmeträgerflüssigkeit bei ausbleibender Solarstrahlung nahe an die Temperatur der Umgebungsluft erwärmt werden kann.

Für solche PVT-Luft-Sole-Kollektoren mit hohem Wärmeübertragungsvermögen zur Luft wurden im Projekt SolAirHX 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 5.000 teilweise wissenschaftlich begleiteten Systemen unter Beweis gestellt, so dass sie eine erprobte Technologie mit zunehmender Relevanz darstellen.

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:

Ulrich Leibfried, Consolar Solare Energiesysteme, Lörrach

Hans Stork, Consolar Solare Energiesysteme, Lörrach

Stephan Fischer, Universität Stuttgart, IGTE

Sebastian Asenbeck, Universität Stuttgart, IGTE

Thomas Schabbach, Hochschule Nordhausen, in.RET

Bilder: Consolar

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 m/s einen U-Wert ≥ 30 W/(m² K) aufweisen, sind:

- solarthermischer Luft-Sole-Kollektor (engl.: Solar thermal air brine collector)
- PVT-Luft-Sole-Kollektor (engl.: PVT air brine collector)

$U = a_1 + a_3\, u \geq 30$ W/(m² K)

Die Kennwerte zur Berechnung des U-Werts müssen nach ISO 9806 bestimmt werden. Luft-Sole-Kollektoren wurden im Rahmen des Projekts SolAirHX hinsichtlich ihres Aufbaus gemäß Bild ① klassifiziert. Luft-Sole-Kollektoren können in zwei Hauptkategorien unterteilt werden: solarthermische Luft-Sole-Kollektoren (ohne PV) und PVT-Luft-Sole-Kollektoren. Beide Formen 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 etwa zu Heizzwecken in einem Wohngebäude verwendet werden kann.

(PVT-) Luft-Sole-Kollektoren können zudem auch zur Gebäudekühlung genutzt werden. 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 vor allem über den Wärmeübertrager des Luft-Sole Kollektors abgegeben und dies kann auch tagsüber geschehen /5/.

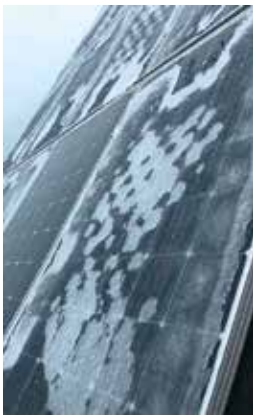
Einfluss des Kollektoraufbaus

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:

$$\dot{Q}_c = U \cdot A_{br} \cdot (T_L - T_c) \qquad (1)$$

Damit der Wärmestrom $\dot{Q}_c$ von der Umgebungsluft in Richtung Kollektor fließen kann, muss die Kollektortemperatur niedriger 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 Wärmeüberträgermaterialien 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.



② Standard-PVT-Kollektor mit flächiger Eisbildung auf der PV-Seite, die als geschlossene Eisplatte abrutscht

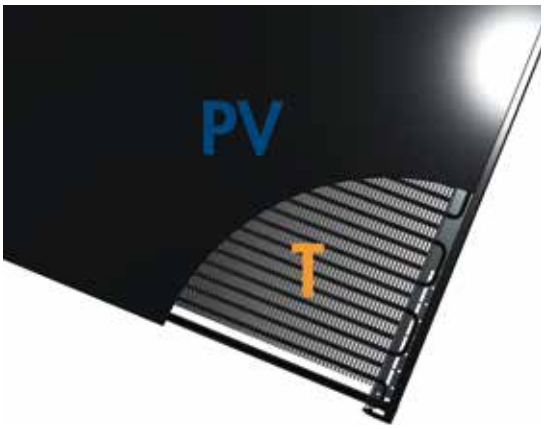
Wenn die Wärmepumpe bei stationärem Betrieb und ohne solare Einstrahlung dem Kollektor den Wärmestrom $\dot{Q}_c$ entzieht, stellt sich eine vom U-Wert abhängige mittlere Soletemperatur T_c ein:

$$T_c = T_L - \dot{Q}_c / (U \cdot A_{br}) \qquad (2)$$

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 wenig über dem Gefrierpunkt führt dieser Temperaturunterschied zu Kollektortemperaturen deutlich unter 0 °C und damit starker Vereisung. In der Folge sinkt der U-Wert durch die Eisbildung weiter. 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 auch auf der Vorderseite des PVT-Kollektors (Bild ②). Eine zweite Folge der Eisbildung ist daher der Rückgang des photovoltaischen Ertrags aufgrund erhöhter Reflexion. Dies läuft dem Bestreben zuwider, 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 beim Abrutschen zu Personengefährdung führen können.

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 weniger anfällig 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).



③ PVT-Luft-Sole-Kollektor mit großflächigem Lamellen-Wärmeübertrager auf der Rückseite



④ Messaufbau in der Klimakammer

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 (Bild 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.

Untersuchungen in der 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 Versuche /7, 8/ an drei unterschiedlichen PVT-Kollektoren (Tabelle ❶) fanden in einer Klimakammer statt, um konstante Umgebungsbedingungen hinsichtlich Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit zu erzielen (Bild ④).

Tabelle ❶ 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 Situation auf einem Schrägdach zu simulieren. Eine Auffangvorrichtung in 30 cm Abstand zum Kollektor leitet Kondensat und Schmelzwasser zur späteren Massebestimmung in einen Behälter. Für die Erfassung der Temperaturen wurden Standard-Widerstandsthermometer PT-100 verwendet, für den Volumenstrom der Kollektorkreisflüssigkeit, hier Tyfocor LS, Mehrstrahl-Flügelradzahler. Die Messwerte (10-s-Einzelwerte) wurden über jeweils 24 h mit einem Digitalmultimeter aufgenommen.
Alle Testreihen wurden bei konstanter Umgebungslufttemperatur von $T_L = 7\,°C$ und gleichbleibender Luftfeuchte von $\varphi_L = 90\,\%$ durchgeführt. Um im gesamten Innenvolumen der Klimakammer eine gleichmäßige Solltemperatur zu halten, wurde die Luft ständig bewegt. Aufgrund der so entstehenden Turbulenzen konnten 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 ist. Entsprechend gibt der Laborthermostat den untersuchten Kollektoren eine Eintrittstemperatur vor, die um $\Delta T_c = 4\,K$ unterhalb der bei den aktuellen Bedingungen erzielten Austrittstemperatur liegt. Bei konstanter (elektrischer) Pumpenleistung steigt mit abnehmender Temperatur die Viskosität des Fluids; entsprechend sinken der gemessene Volumenstrom und auch die Entzugsleistung.
Um eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu erreichen, wurde als Abszisse die dem Testkollektor jeweils entnommene Wärmemenge berechnet:

$$Q_{Ent}(t) = \int_{t=0}^{t} \dot{Q}_c(t)\,dt = \int_{t=0}^{t} \left\{ p(T_c) \cdot c_P(T_c) \cdot \dot{V}_c(t) \cdot (T_{Co} - T_{Ci}) \right\} dt$$

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

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

Bild ⑤ 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 $T_{min} = -20\,°C$. Deutlich sichtbar in Bild ⑤ 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).

Bilder: Consolar

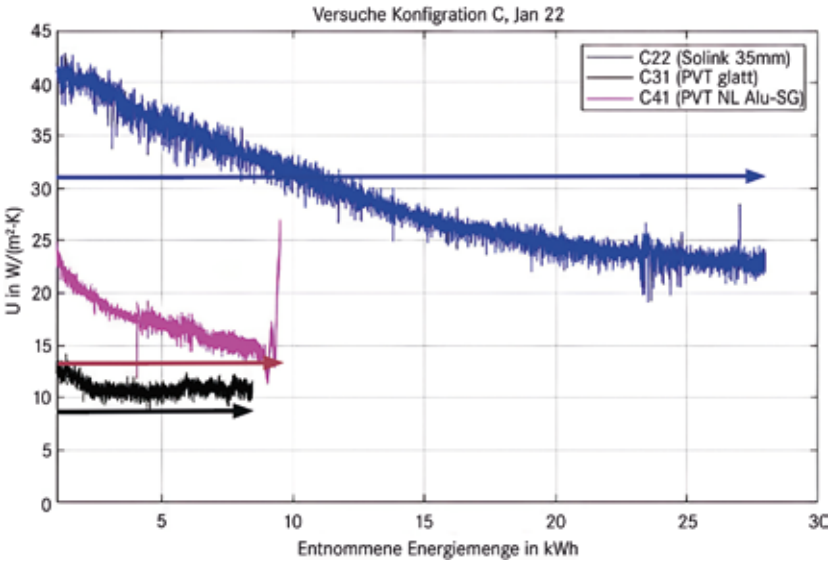
Entsprechend kann der Kollektor C22 bis zum Abschalten der Wärmepumpe bei Erreichen der Minimaltemperatur auch eine erheblich größere Energiemenge Q_{Ent} bereitstellen.

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 (Bild ⑤). 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 Eisbildung /10/. Ursache 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 ist 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 den Wetterbedingungen geblasen.
Bild ⑥ zeigt den Lamellen-Wärmeübertrager einer Luft-Wärmepumpe während des Enteisungsvorgangs



⑤ 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.

/9/. In Fachforen /10/ dokumentieren Nutzer bei kritischen Wetterbedingungen (feucht, knapp über dem Gefrierpunkt) Abtauvorgänge bis zu alle 30 bis 90 min. 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 Sole-Wärmepumpen, die mit PVT-Luft-Sole-Kollektoren betrieben werden.
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 abnehmenden bis keinen Raureif mehr ansetzt. In der

DAIKIN

Über 100 Jahre Erfahrung – mehrfach ausgezeichnet.

Luft-Luft-Wärmepumpen vom Spezialisten

Klimatechnologie, die Vertrauen schafft
- Über 100 Jahre Erfahrung, 50 Jahre in Europa
- Einziger Hersteller, der Verdichter und Kältemittel selbst entwickelt und herstellt
- Mehrfach ausgezeichnet, u. a. von Stiftung Warentest

Klimasysteme, die jede Installation einfacher machen
- Breites Produktportfolio für jeden Anspruch und Gebäudetyp
- Multi Systeme für bis zu 5 Innengeräte
- Multi+ mit bis zu 4 Innengeräten plus Warmwasser

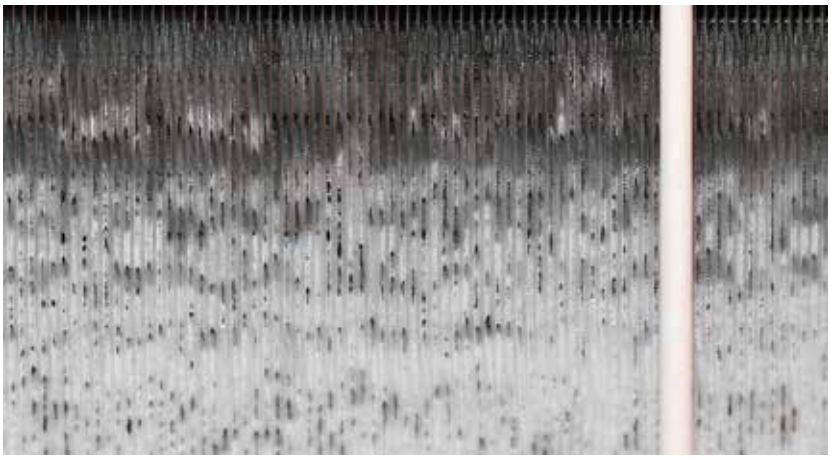


Global No. 1 Air Conditioning Company* N°1* 100th ANNIVERSARY Aus EUROPA. Für EUROPA.

*Fuji Keizai Co., Ltd.„Globaler Markt für Haushaltsgeräte 2025" (Rangliste der Geräteverkäufe globaler Klimaanlagenhersteller, Ergebnisse für das Geschäftsjahr 2023)

www.daikin.de





⑥ **Luftwärmepumpe mit Vereisung: der Zwischenraum zwischen den Lamellen ist zu Beginn des Abtauvorgangs vollständig durch Eis verschlossen.**

Praxis ist der Effekt auf die Wärmeübertragung so gering, dass bei Paralleldach-Montage im Gegensatz zu Luftwärmepumpen kein Enteisungsvorgang nötig ist. Dies bestätigen Untersuchungsergebnisse des IGTE: Im Rahmen des von der DBU geförderten Projekts Solink wurde ein PVT-Luft-Sole-Kollektorfeld mit 9 Solink-Kollektoren 18 Monate lang im Außentestfeld untersucht. Hier konnte keine signifikante Reduzierung des Wärmeübertragungsvermögens durch die Eisbildung am Wärmeübertrager beobachtet werden; sie lag unter 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.

Tabelle ❷ Kollektorkennwerte für Simulationsvergleich

	PVT-Luft-Sole-Kollektor	Standard-PVT-Kollektor flach
U-Wert bei einer Windgeschwindigkeit u = 1,5 m/s	31 W/(m² K)	16 W/(m² K)
Konversionsfaktor $\eta_{0,b}$	49,8 %	58,4 %

Systemvergleich

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

- Jahreswärmebedarf Heizung: 7.500 kWh
- Jahreswärmebedarf Warmwasser: 2.550 kWh
- Standort Würzburg
- Abschalten der Wärmepumpe bei Soleeintrittstemperatur –15 °C.

In Bild ⑦ sind die erreichbaren Jahresarbeitszahlen (JAZ) dargestellt, die bei unterschiedlichen Kollektorflächen mit den beiden Kollektortypen jeweils erreicht werden. Die Jahresarbeitszahl nach VDI 4650-1 bezeichnet das Verhältnis der von Wärmepumpe und Elektroheizstab gelieferten Wärme zur Stromaufnahme von Wärmepumpe und Elektroheizstab. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem Standard-PVT-Kollektor als einzige Wärmequelle die erreichbare Jahresarbeitszahl begrenzt ist: Auch wenn die Kollektorfläche weiter erhöht wird, steigen die Werte kaum weiter. Ab einer Kollektorfläche unter 30 bis 34 m² fällt die JAZ ab, da dann der Elektroheizstab in größerem Maß benötigt wird. 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 bis 20 m² liegen /12/. Das empfohlene Flächenverhältnis beträgt 2 bis 2,4 m²/kWth, 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 alleiniger 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

Bilder: Consolar

Tabelle ❸ SJAZ und $SJAZ_{PVT}$ aus Vergleichssimulation für Mehrfamilienhaus /14/

	SJAZ	$SJAZ_{PVT}$
PVT-Luft-Sole-Kollektor (95 m²) in MFH (SOLINK)	4,1	5,4
Standard-Luft-WP mit gleicher PV-Fläche (95 m²)	3,4	4,0

andere vorgesehen, kann auch ein Elektroheizstab beim Abschalten der Wärmepumpe die Wärmebereitstellung übernehmen; dies ist aber mit hohem Stromverbrauch im Winter und entsprechenden Kosten verbunden.

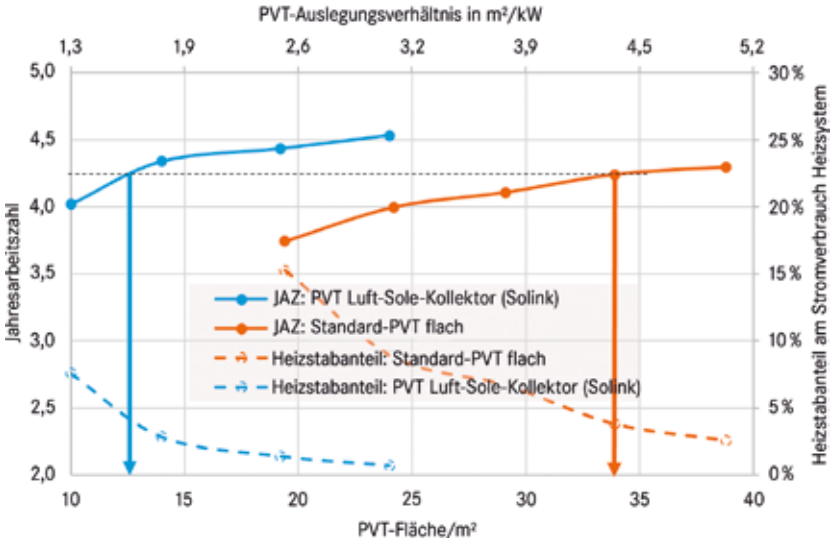
Der Vergleich von PVT-Luft-Sole-Wärmepumpensystemen mit Luft-Wärmepumpen wurde im Rahmen dieses Projekts nicht durchgeführt. Frühere Untersuchungen /14/ zeigen, dass auch die mit PVT-Luft-Sole-Kollektoren betriebene Wärmepumpe – verglichen mit typischen Luftwärmepumpen – eine hohe Effizienz aufweist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

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 im städtischen Bereich und der Sanierung aufgrund des begrenzten Platzes für das Kollektorfeld oft alternativlos.



⑦ 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.

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 Julich (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/ Leibfried, U., Fischer, S., Asenbeck, S.: 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. Pärisch, F. Giovannetti, EuroSun 2022

/4/ Eismann, R et al., CoolShift Nächtliche Gebäudekühlung durch natürliche Konvektion und Strahlung mit zeitweiser Unterstützung durch Kältemaschine, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2023

/5/ Leibfried, U., Fischer, S., Asenbeck, S.: 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, S.: 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/ Asenbeck, S., Leibfried, U., Stork, H., Fischer, S.: PVT-Wärmepumpen-System – Ein CO_2-neutrales, wirtschaftliches Heizsystem für MFH, tab 10/2021, Gütersloh