

# PVT-WÄRMEPUMPEN IM REALBETRIEB

## WERTVOLLE ERKENNTNISSE AUS MEHRJÄHRIGEM MONITORING

Der Absatz von PVT-Kollektoren hat sich in den letzten vier Jahren in Deutschland fast verfünffacht. Im vergangenen Jahr wurden 19.100 m<sup>2</sup> installiert. Die Initiative IntegraTE begleitet die schnell wachsende Branche. Zentraler Baustein ist die Vermessung von PVT-Wärmepumpensystemen unter Realbedingungen, um Zuverlässigkeit und Leistung zu untersuchen. Wichtig ist grundsätzlich, dass PVT-Kollektoren und Wärmepumpen ein gut aufeinander abgestimmtes Gesamtsystem bilden.

PVT-Kollektoren gelten als alternative Wärmequelle für Sole-Wärmepumpen. Sie gewinnen sowohl Strom als auch Wärme aus Sonnenenergie und Umgebungswärme, die sie der Wärmepumpe (WP) zuführen, um deren Effizienz und CO<sub>2</sub>-Bilanz zu verbessern. Übers Jahr hinweg produzieren PVT-Kollektoren in einer solchen Kombination etwa viermal mehr Gesamtenergie, also Wärme und Strom, als eine PV-Anlage der gleichen Fläche.

Um die Bekanntheit der technisch und wirtschaftlich attraktiven PVT-Kollektoren kombiniert mit WP im Gebäudesektor zu erhöhen, finanziert das Bundeswirtschaftsministerium seit Ende 2019 die Initiative IntegraTE. Mit dem Fraunhofer ISE, dem Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE) der Uni Stuttgart und dem Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) sind dafür drei wissenschaftliche Partner gemeinsam am Start. Inzwischen haben sich 16 Systemlieferanten aus Deutschland und den Nachbarländern angeschlossen.

Eine zentrale Aktivität ist die Vermessung von PVT-WP-Systemen unter Realbedingungen. Die Industriepartner bei IntegraTE konnten Demonstrationshäuser vorschlagen, die dann mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet wurden.

„Eine so junge, dynamisch wachsende Branche braucht wissenschaftliche Begleitung“, betont Forschungspartner Harald Drück vom IGTE. Die ersten Einfamilienhäuser mit Anlagekonzepten von verschiedenen Systemlieferanten sind

nun zwei Jahre vermessen (siehe Bild 1). Die Monitoring-Daten sind auf der IntegraTE-Webseite<sup>1)</sup> öffentlich zugänglich.

Die zentrale Kenngröße zur Beurteilung der Anlagen ist die Jahresarbeitszahl (JAZ). Sie definiert sich aus der jährlich bereitgestellten Wärmemenge für Heizen und Trinkwarmwasser bezogen auf die dafür notwendige elektrische Energie für WP (Verdichter, Heizstab und Steuerung), Regelung und Pumpen in den Kreisen der Wärmequellen. „Wir haben bei den Systemgrenzen für die JAZ den Wärmespeicher des Hauses nicht berücksichtigt, damit die unterschiedlichen Wärmeverteilungssysteme die Betriebsergebnisse nicht so stark beeinflussen und wir eine höhere Vergleichbarkeit erreichen“, so Korbinián Kramer, IntegraTE-Projektleiter vom Fraunhofer ISE. Außerdem handelt es sich in Bild 1 um eine JAZ rein für den Heizbetrieb. Hier wird der Anteil des So-

larstroms aus den PVT-Kollektoren nicht abgezogen, der direkt für den Betrieb der WP genutzt wird.

Am besten schneidet der Neubau in Altenbuch ab (Haus 5) mit einer JAZ von 4,2. Hier stellen PVT-Kollektoren gemeinsam mit drei Erdkörpern im Garten die Wärme für die WP bereit. Mit einer JAZ von 3,3 bzw. 3,4 in den beiden Messjahren erreicht auch das große, sanierte Haus in Schweden (Haus 3) zufriedenstellende Effizienzen. Kramer betont, dass alle Demoanlagen egal ob Neu- oder Altbau recht stabil über die ersten beiden Jahre gelaufen sind. Durch den Austausch mit den ausführenden Fachfirmen konnten die Systeme außerdem teilweise noch energetisch optimiert werden. Die Betriebsergebnisse von zwei Anlagen werden exemplarisch für einen Neubau (Haus 4) bzw. einen Altbau (Haus 3) genauer betrachtet.

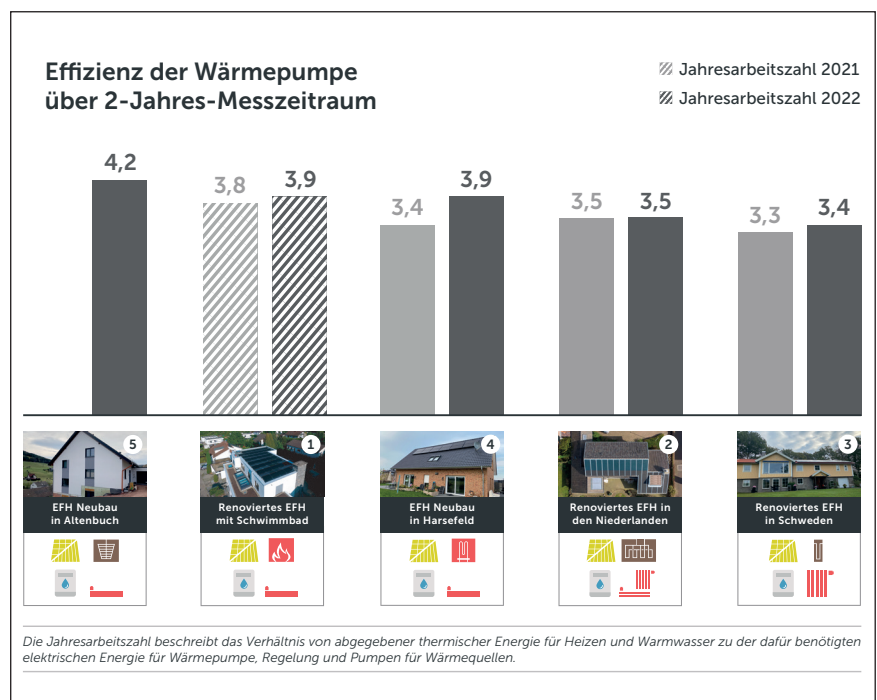


Bild 1: Vermessene Einfamilienhäuser im Überblick. Der Steckbrief des Projektes zeigt die Heiztechnik und das Verteilsystem der Heizwärme im Haus (Fußbodenheizung oder Radiatoren). Die Nummer entspricht der Anlagen-Nummerierung im Monitoring-Portal. Die Ergebnisse von Haus 1 sind schraffiert, weil hier eine Gastherme parallel zur Wärmepumpe (WP) installiert ist, so dass über eine Vorzugsregelung die WP eher bei günstigen Witterungsverhältnissen betrieben wird.

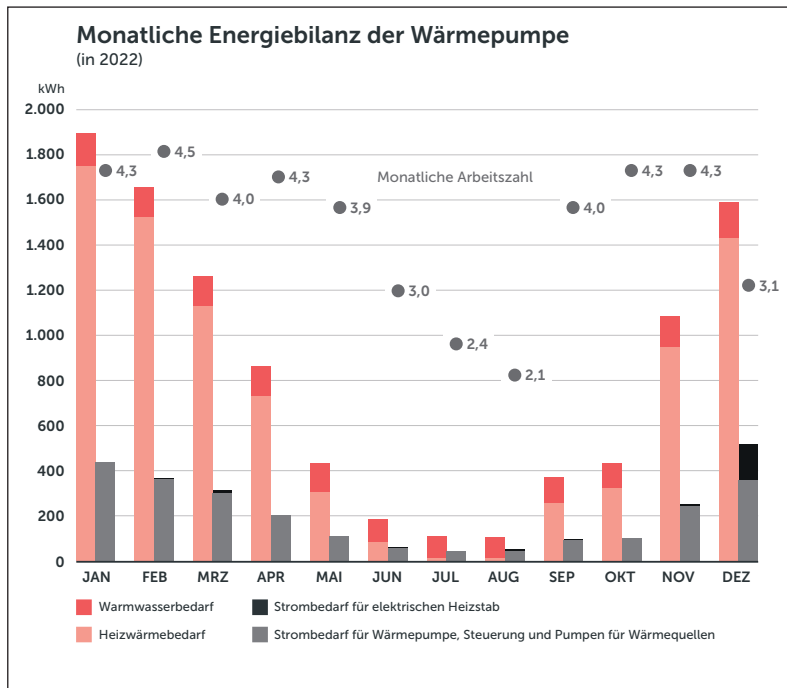


Bild 2: Monatliche Energiebilanz für Haus 4 – ein Neubau-Einfamilienhaus in Harsefeld, Niedersachsen, mit einer WP, die alleine über das PVT-Kollektorfeld die Wärme bezieht und von einem elektrischen Heizstab als Zusatzheizung abgesichert ist.

### 25 bis 40 % des PVT-Stroms über die Batterie fürs Heizen

Das neue Wohnhaus in Harsefeld, Niedersachsen, (Haus 4) wird allein über die PVT-Kollektoren mit modulierender 6-kW<sub>th</sub>-Solar-WP beheizt. Auf dem Dach ist neben einem 16 m<sup>2</sup> PVT-Feld mit 3,6 kW<sub>el</sub> noch eine PV-Anlage mit 1,8 kW<sub>el</sub> installiert.

Die vierköpfige Familie, die 190 m<sup>2</sup> bewohnt, kann sich über niedrige Heizkosten freuen, weil hier das Monitoring eine JAZ von deutlich über 3 bestätigt. In dieser Bilanz ist der Strombedarf für den 7-kW-Elektro-Heizstab auch schon eingerechnet, der laut der Monatsbilanz des Jahres 2022 nur selten anspricht (siehe Bild 2). Das Heizsystem benötigte insgesamt 2.566 kWh Strom im Jahr 2022. Davon gingen 79 % an die WP, 13 % waren Hilfsstrom für Pumpen und Regelung und 8 % der Energiemenge wurde direkt im Heizstab in Wärme umgesetzt. Im Betrieb erreicht das PVT-WP-Heizsystem mit den PVT-Kollektoren als einzige Wärmequelle für die WP also eine ähnliche Effizienz wie eine Anlage mit PVT und Erdkolektor, wobei der Heizstab natürlich viel günstiger ist als ein Erdkolektor, fasst Kramer zusammen.

Bild 2 zeigt, dass die Effizienz des Heizsystems – ausgedrückt durch eine monatliche Arbeitszahl der WP – über das Jahr schwankt. Klar ist, dass die hohen Temperaturen für das Trinkwarmwasser im Sommer von der WP in der Tendenz mit einem schlechteren Wirkungsgrad erzeugt werden als die moderaten Heiztemperaturen, die die Wärmebilanz im Herbst und Winter dominieren.

Beim Monitoring werden auch die Temperaturen im Solarkreis der PVT-Kollektoren erfasst. Die Unterschiede je nach Jahreszeit sind groß. Im Januar und Februar liegt die über den Monat energetisch gewichtete Ausgangstemperatur der PVT-Kollektoren bei 1,7 °C beziehungsweise 0,4 °C. Tageweise liegt die Quelltemperatur der PVT-Kollektoren im Winter sogar bei -12 °C. Die Solarkreisleitungen vom Dach müssen innerhalb der Gebäudehülle entsprechend gut gedämmt sein, damit sich kein Kondenswasser bildet.

Im Juli und August kommen dagegen im Mittel 18,4 °C bzw. 19 °C vom Dach. Für diese große Bandbreiten der Quelltemperaturen muss die WP ausgelegt sein. PVT-WP-Systeme müssen also immer ein gut aufeinander abgestimmtes Gesamtsystem sein, meint Kramer.

Wie erhöht sich nun die JAZ, wenn man den Anteil des Solarstroms abzieht, der gleichzeitig mit dem Betrieb der WP produziert wird? Laut Monitoring deckt bei dem Haus in Harsefeld Strom aus den PVT-Kollektoren und den zusätzlich installierten PV-Modulen mit Hilfe einer Batterie immerhin 33 % des jährlichen Strombedarfs für WP und Heizstab. Die um diesen Eigenstromverbrauch bereinigte Jahresarbeitszahl steigt dadurch von 3,9 auf 5,9.

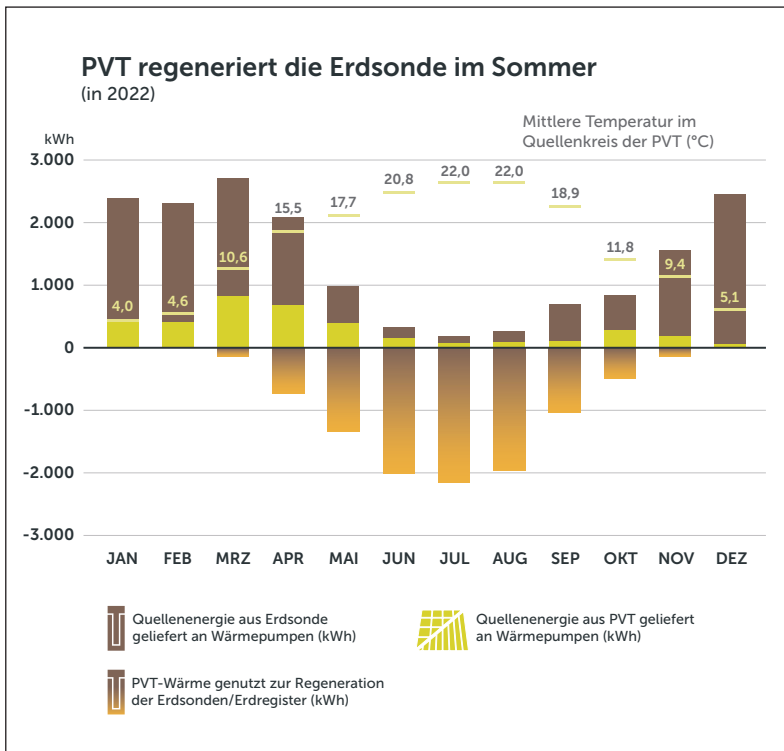
Die Monitoring-Daten der Demonstrationshäuser zeigen, dass bei einer sinnvoll dimensionierten Anlage ohne Batterie rund 10 bis 30 % des PV-Stroms direkt für Heizzwecke verwendet werden. Dieser Deckungsanteil steigt auf 25 bis 40 % an, wenn eine Solarstrombatterie installiert ist.

### Regeneration der Erdsonden erhöht Effizienz der Erdreichwärmequelle

Die Anlage 3 des Monitorings ist ein großes, saniertes Haus in Schweden mit 340 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Hier gab es Handlungsbedarf, weil die Erdsonde – über viele Jahre als alleinige Wärmequelle einer Sole-WP betrieben – das Erdreich bereits stark ausgekühlt hatte. In diesem Fall bildet sich ein Kältetrichter um die Erdsonde herum und die Wärmeerträge der Sonde gehen kontinuierlich zurück.

Die 2020 installierte PVT-Anlage mit einer Fläche von 31 m<sup>2</sup> mit 19 kW<sub>el</sub> erfüllt hier also gleich drei Aufgaben. Sie liefert Strom sowie Wärme direkt an die Sole-WP (gelbe Säulenabschnitte oberhalb der x-Achse in Bild 3). Die Wärmeüberschüsse im Sommer können außerdem in die Erdsonde geleitet werden und regenerieren dort das Erdreich. Dass dies gut gelingt, zeigt Bild 3. Vor allem von Mai bis September liefert die PVT-Anlage einen erheblichen Anteil der Wärme ins Erdreich (orange-braune Säulen unterhalb der x-Achse). Die Monatsbilanz der Wärmemengen zeigt außerdem den interessanten Effekt, dass die WP auch in den Sommermonaten, wenn es mal keine Wärme direkt aus den PVT-Kollektoren gibt, das Erdreich anzapft (braune Balkenabschnitte oberhalb der X-Achse).

Wie sieht nun die Gesamtbilanz zur Deckung des Wärmebedarfs für Heizen und Warmwasser des schwedischen Wohnhauses aus? 25 % der Wärme für die WP kommt direkt aus dem PVT-Kollektorfeld, 75 % wird aus der Erdsonde bereitgestellt. 76 % dieser Quellenwärme



**Renoviertes Einfamilienhaus**  
GÖTEBORG / SCHWEDEN

PVT REGENERIERT ERDSONDE

90 m <sup>2</sup> (5,4 kW <sub>p</sub> )	11 kW
170 m	340 m <sup>2</sup> Heizfläche

Quelle: IntegraTE

Bild 3: Monatliche Wärmebilanz der Wärmequellen für die Sole-WP mit 11 kW<sub>th</sub> in Haus 3 – ein saniertes Einfamilienhaus in Schweden mit 340 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche. Die Wärmemengen aus PVT-Anlage und Erdreich, die direkt an die WP fließen, sind positiv (oberhalb der x-Achse) dargestellt. Die überschüssige PVT-Wärme, die über die Sonde dem Erdreich zugeführt wird, erscheint unterhalb der x-Achse.

me aus der Erdsonde stammt ursprünglich auch von der PVT-Anlage. „Dieses Demonstrationshaus zeigt, dass es sehr hilfreich sein kann, im Altbau bestehende Erdsondenfelder mit einem PVT-Kollektorfeld zur Regeneration zu ergänzen, denn so bleibt die Erdreichwärmequelle über Jahre hinweg effizient und muss nicht erweitert werden,“ fasst Kramer

zusammen.

Bei dem Haus in Schweden zeigt die Messtechnik, dass 21 % – entspricht 1.427 kWh – des WP-Strombedarfs über das Jahr hinweg direkt durch PVT-Strom gedeckt wird. Eine Solarstrombatterie gibt es hier nicht. Die JAZ des Jahres 2022 steigt also von 3,4 auf 4,3, wenn man diesen Effekt berücksichtigt.

### Jahresarbeitszahl sinkt bei höheren Heizkreistemperaturen

Bild 4 führt die Feldtestergebnisse von WP-Systemen ohne PVT aus früheren Monitoring-Projekten mit den Ergebnissen der neuen Demonstrationshäuser zusammen. Jeder blaue Punkt steht für eine Luft-WP, jeder braune Punkt für eine Sole-WP – jeweils in Einfamilienhäusern im Bestand. Die schwarzen Punkte für die fünf vermessenen Anlagen liegen etwa zwischen der Effizienz von Luft- und der von Sole-WP. „Dies ist ein erfreuliches Ergebnis, weil die PVT-WP-Systeme ja noch eine deutlich jüngere und weniger erprobte Haustechnik sind, die sicherlich noch einiges an Verbesserungspotential erschließt“, erklärt Kramer.

Auch wenn Bild 4 zeigt, dass die JAZ von WP von der Temperatur im Heizkreis und im Warmwasserkreis abhängt, lassen sich gute Effizienzwerte im Altbau erzielen. „PVT-WP-Anlagen sind nach unseren Erkenntnissen durchaus geeignet auch im Sanierungsfall zum Einsatz zu kommen,“ zieht Kramer Bilanz.

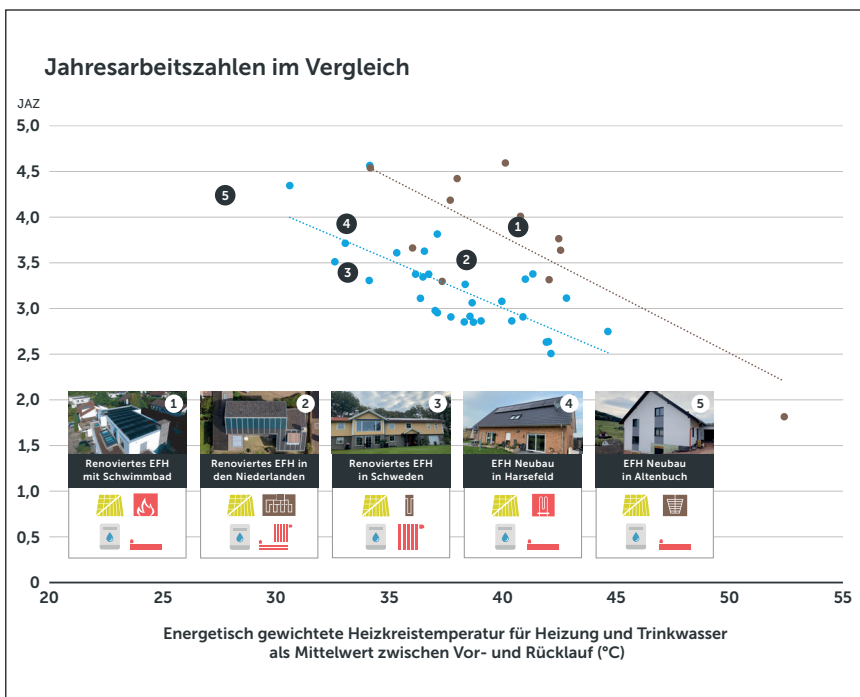


Bild 4: Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpensystemen in Einfamilienhäusern im Bestand mit und ohne PVT vermessen im Jahr 2019. Blaue Punkte stehen für Luftwärmepumpen, braune Punkte für Solewärmepumpen. Beide stammen aus dem Projekt WP smart im Bestand. Die schwarzen Punkte illustrieren die fünf vermessenen Wohnhäuser aus IntegraTE mit Daten des Jahres 2022.

### Fußnote

1) <http://pvt-energie.de>

### ZUR AUTORIN:

► **Bärbel Epp**  
Solrico, Bielefeld, Projektpartnerin bei IntegraTE

[epp@solrico.com](mailto:epp@solrico.com)