

Wie viel PVT bringt

Fachbeitrag aus GEB 09/2024
> www.geb-info.de <

MIT WÄRMEPUMPEN-TOOL ZU PVT-SYSTEMEN BERATEN Sole/Wasser-Wärmepumpen können neben Erdwärme auch Solar- und Umweltwärme aus photovoltaisch-thermischen Kollektoren nutzen. Ein Vergleichstool bietet die Möglichkeit, verschiedene Varianten zu bewerten. Dazu berechnet es Anlageneffizienz, CO₂-Bilanz und Energiegestehungskosten. Bärbel Epp

„Wir wollten ein selbsterklärendes Online-Tool entwickeln, das Handwerker und Energieberater bei der Planung und Auslegung von komplexen PVT-Wärmepumpensystemen unterstützt“, erklärt Bharat Chhugani, Wissenschaftler am Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), warum er das **Wärmepumpen-Vergleichstool** entwickelt hat (Abb. 1). Seine Arbeiten sind Teil der vom Bundeswirtschaftsministerium finanziell unterstützten Initiative **IntegraTE**, die Informationen zu photovoltaisch-thermischen Kollektoren (PVT) und Wärmepumpen im Gebäudebestand erstellt und damit zu deren Verbreitung beitragen will. Neben dem ISFH, dem Institut für Gebäudeenergie, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE) der Universität Stuttgart und dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE sind dafür seit Dezember 2019 gleich drei wissenschaftliche Partner gemeinsam am Start.

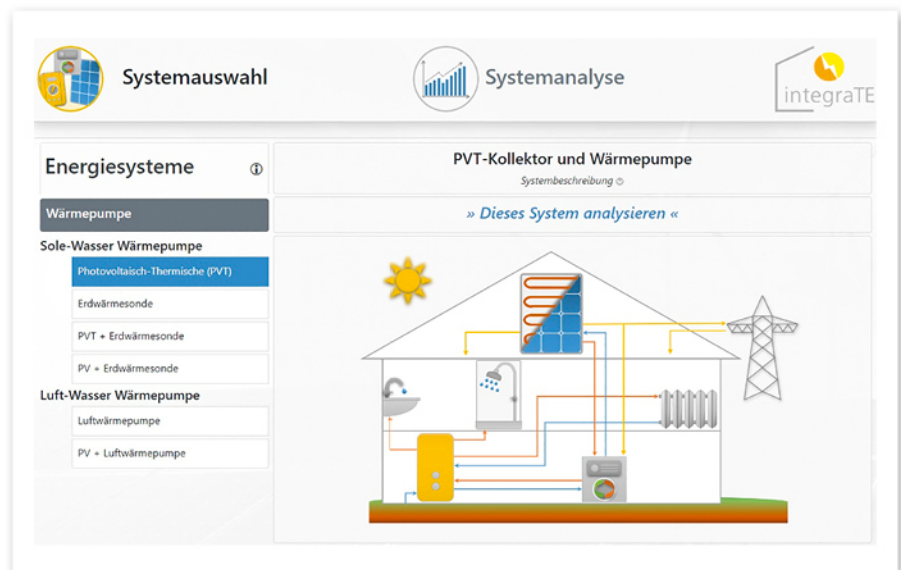
Im ersten Schritt können Nutzer:innen des Tools aus verschiedenen Systemvarianten auswählen:

- Sole/Wasser-Wärmepumpe + PVT
- Sole/Wasser-Wärmepumpe + Erdwärmesonde
- Sole/Wasser-Wärmepumpe + Erdwärmesonde + PVT
- Sole/Wasser-Wärmepumpe + Erdwärmesonde + PV
- Luft/Wasser-Wärmepumpe
- Luft/Wasser-Wärmepumpe + PV

Die Heizsystemvarianten sind grafisch dargestellt und ihre Funktion, Einsatzmöglichkeiten sowie Vor- und Nachteile werden in Textform erläutert. Im zweiten Schritt wählen die Nutzer:innen eine von zwei Haustypen aus, entweder einen Einfamilienhaus-Neubau oder ein Bestandsgebäude.

Tool basiert auf zigtausenden von TRNSYS-Simulationen

Der besondere Service besteht darin, dass bei allen Systemvarianten für die Auslegungsparameter und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bereits Werte im Tool vorgegeben sind, sodass die Nutzer:innen direkt Kennwerte erhalten. Vorgegeben sind unter anderem Werte für die Auslegung der Solaranlagen oder der Erdwärmesonde sowie Energie-, Kompo-



1 Startseite des Wärmepumpen-Tools: Über die Systemauswahl oben links und den Link „Dieses System analysieren“ lassen sich die energetischen und wirtschaftliche Kenndaten verschiedener Wärmepumpensysteme analysieren.

ponenten- und Wartungskosten. Über einfach zu bedienende Schieberegler lassen sich alle Eingabewerte anpassen. An allen Parametern findet sich ein Quickinfo-Knopf, der konkrete Handlungsanweisungen oder weitere Erklärungen für den Anwender liefert.

Hier seien beispielhaft die voreingestellten Bruttopreise für die Hauptkomponenten der Systeme genannt, die auf eingeholten Angeboten aus dem Jahr 2022 beruhen: 13.100 Euro für eine 12-Kilowatt-Solewärmepumpe, 16.550 Euro für die 11,2-Kilowatt-Luftwärmepumpe, 100 Euro pro Meter Sondenbohrung und 50 Euro pro Quadratmeter PV-Fläche. Der im Tool voreingestellte Preis von 350 Euro pro Quadratmeter PVT-Kollektorfeld orientiert sich an einer Herstellerumfrage aus dem Jahr 2022, bei der acht Anbieter ihre Nettoendkundenpreise von ungedeckten PVT-Kollektoren gemeldet hatten, aus denen sich ein Mittelwert von 339 Euro pro Quadratmeter ergab. Die Preise unterschieden sich jedoch stark: Sie lagen zwischen 175 und 595 Euro pro Quadratmeter. Ein PVT-Kollektorfeld profitiert wie eine PV-Anlage von einem Umsatzsteuersatz von Null Prozent.

Damit Ergebnisse für eine große Zahl von frei einzugebenden Parametern ermittelt werden können, hat Chhugani zigtausende von Simulationen mit der Software TRNSYS durch-

geführt, deren Ergebnisse im Tool für die verschiedenen Systemvarianten unter dem Reiter „Energie“ dargestellt sind. Bei TRNSYS handelt es sich um ein flexibles, komponentenbasiertes Simulationsprogramm für komplexe thermische und elektrische Energiesysteme, das vorwiegend Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einsetzen.

Wichtige Energie-Kenndaten bei dem vom ISFH entwickelten Tool sind die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe, der jährliche Netzstrombezug und der Eigenverbrauchsanteil des Solarstroms. Das Besondere: Verändert man einen Eingangsparameter mithilfe des Schiebereglers, berechnet das Tool zeitgleich die Bilanz neu und die Kennzahlen auf der Seite „Energie“ passen sich umgehend an.

Gleiches gilt für die ökonomische Bilanz über den Reiter „Wirtschaftlichkeit“. Dort sind als Kenndaten die Gesamtinvestitionskosten des Systems mit und ohne Förderung, die jährlichen Betriebskosten sowie die Energiegestehungskosten dargestellt. Verändert man zum Beispiel den Schieberegler des Wärmepumpenpreises oder der aktuellen Fördersumme, verändern sich zeitgleich die wirtschaftlichen Kenndaten (Abb. 2).

PVT erreicht günstigste Energiegestehungskosten

Abb. 3 stellt für vier Systemvarianten die energetischen und wirtschaftlichen Kenndaten für die im Tool voreingestellten Werte zusammen. Was lässt sich daraus ablesen?

- Wärmepumpensysteme mit PVT erreichen die beste Jahresarbeitszahlen-Netz mit 4,16. Sie berücksichtigen den PV-Stromanteil, der direkt in der Wärmepumpe genutzt wird und den Netzstrombezug reduziert.
- Die Kombination mit Erdwärmesonden weist mit 4.569 Kilowattstunden den niedrigsten jährlichen Strombedarf für die Wärmepumpe auf.
- Die Investitionskosten für Solewärmepumpen fallen aufgrund der Quellenschließung deutlich höher aus als für Luftwärmepumpen. Am günstigsten schneidet die Luftwärmepumpe mit 28.800 Euro ab. Die Fördersätze der Bundesförderung für Effiziente Gebäude (BEG) Einzelmaßnahmen laut der Richtlinie vom Dezember 2023 reduzieren die Differenz nicht maßgeblich. Den Effizienzbonus von fünf Prozentpunkten erhalten nur erdgekoppelte Solewärmepumpen. Für alle Systeme greifen die maximal anrechenbaren Investitionskosten von 30.000 Euro. Bei PVT als Wärmequelle werden zur Ermittlung der förderfähigen Kosten, sofern EEG-Vergütung in Anspruch genommen wird, pauschal 1.500 Euro pro Kilowatt abgezogen. Ein Bonus von fünf Prozentpunkten für natürliche Kältemittel wurde nicht berücksichtigt.
- Die jährlichen Betriebskosten sind bei der Wärmepumpenvariante mit PVT am günstigsten (3.174 Euro). Als durchschnittlicher Standardpreis für Wärmepumpen- und Haushaltsstrom sind im Tool 30 Cent pro Kilowattstunde brutto voreingestellt.
- Die Energiegestehungskosten, die Investitionskosten und Betriebskosten für Wärme und Strom über 20 Jahre einschließen, sind bei den Varianten PVT + Solewärmepumpe und PV + Luftwärmepumpe mit 20,3 Cent pro Kilowattstunde am niedrigsten.

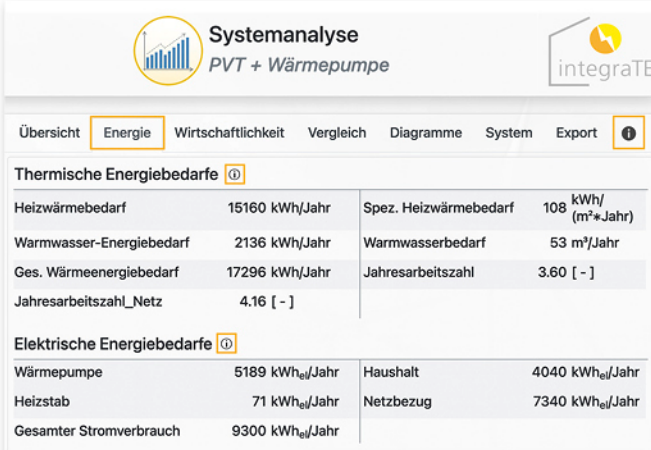
„Es ist wichtig, die Kunden darauf hinzuweisen, dass Haushalte mit PVT-Solewärmepumpen langfristig deutlich bei den Be-

GEB Podcast Gebäudewende

Hören Sie zum Thema auch unseren Podcast Gebäudewende #19: Sonne doppelt ernten mit PVT.

gebuedewende.podigee.io/19-sonne-doppelt-ernten





Systemanalyse
PVT + Wärmepumpe

Übersicht **Energie** Wirtschaftlichkeit Vergleich Diagramme System Export

Thermische Energiebedarfe

Heizwärmebedarf	15160 kWh/Jahr	Spez. Heizwärmebedarf	108 kWh/(m²*Jahr)
Warmwasser-Energiebedarf	2136 kWh/Jahr	Warmwasserbedarf	53 m³/Jahr
Ges. Wärmeenergiebedarf	17296 kWh/Jahr	Jahresarbeitszahl	3.60 [-]
Jahresarbeitszahl_Netz	4.16 [-]		

Elektrische Energiebedarfe

Wärmepumpe	5189 kWh _{el} /Jahr	Haushalt	4040 kWh _{el} /Jahr
Heizstab	71 kWh _{el} /Jahr	Netzbezug	7340 kWh _{el} /Jahr
Gesamter Stromverbrauch	9300 kWh _{el} /Jahr		

2 Die energetischen Kenndaten der Systemvariante PVT + Solewärmepumpe sind unter dem Reiter „Energie“ zusammengestellt. Quickinfos liefern an wichtigen Stellen des Tools zusätzliche Erklärungen.

triebskosten sparen können. Außerdem können die PVT-Kollektoren aufgrund von automatisierter Fertigung bei höheren Absatzzahlen noch günstiger werden“, erklärt IGTE-Arbeitsgruppenleiter Harald Drück.

Für die Energieberatung bietet sich das Tool an. „Bei meinen Systemberatungen und der Planung/Projektierung von PVT-Anlagen spielen der Zusatznutzen durch die Wärme und die langfristigen, geringen Betriebskosten für Heizung und Warmwasser eine zentrale Rolle. Das Wärmepumpen-Vergleichstool hilft, die Kosten der verschiedenen Auslegungs-Varianten zur

Bild: Screenshot <https://heatpumpsystems.isfh.de/>

Bild: Wärmepumpen-Vergleichstool

		 PVT-Kollektorfeld (30 m²) + Solelwärmepumpe (12 kW)	 Erdwärmesonde (150 m) + Wärmepumpe (12 kW)	 Luftwärmepumpe (11,2 kW)	 PV-Module (30 m²) + Luftwärmepumpe (11,2 kW)
ENERGETISCHE KENNWERTE	Jahresarbeitszahl-Netz	4,16 ↑	3,91	3,07	3,51
	Jährlicher Strombedarf der Wärmepumpe	5.189 kWh _{el}	4.569 kWh _{el} ↓	6.050 kWh _{el}	6.050 kWh _{el}
WIRTSCHAFTLICHE KENNWERTE	Gesamtinvestitionen ohne Förderung	€ 40.850,-	€ 43.350,-	€ 28.800,- ↓	€ 32.300,-
	Gesamtinvestitionen abzüglich BEG-Basisförderung	€ 31.850,-	€ 32.850,-	€ 20.200,- ↓	€ 23.700,-
	Durchschnittliche jährliche Betriebskosten unabhängig von Investitionskosten	€ 3.174,- ↓	€ 3.694,-	€ 3.751,-	€ 3.403,-
	Energiegestehungskosten	20,3 ct/kWh ↓	22,9 ct/kWh	23,0 ct/kWh	20,3 ct/kWh ↓

3 Vergleich der energetischen und wirtschaftlichen Kenndaten für ein Bestandsgebäude mit einem jährlichen Heizwärmebedarf von 108 Kilowattstunden pro Quadratmeter: Bei der Förderung wurde der BEG-Basisatz von 35 Prozent für erdgekoppelte Solelwärmepumpen und 30 Prozent für Luftwärmepumpen und PVT-Solelwärmepumpen angesetzt – jeweils bis zu maximalen Investitionskosten von 30.000 Euro. Die Energiegestehungskosten sind ein Mischpreis zwischen Kilowattstunden Wärme und Strom.

Kundenentscheidung objektbezogen zu berechnen und neutral gegenüberzustellen“, sagt Hans Biehler, ein unabhängiger Energiesystemberater aus Rheinland-Pfalz.

Wie viel Solarstrom sich zum Heizen nutzen lässt

Vielen Kunden, die sich für eine Wärmepumpe mit PVT- oder PV-Anlage entscheiden, ist es wichtig, wie viel ihres erzeugten PV-Stroms sie selbst verbrauchen können. Der Deckungsanteil beziehungsweise Autarkiegrad gibt an, welchen Anteil die eigene Solaranlage auf dem Dach am jährlichen Strombedarf für Haushalt und Heizung direkt deckt. Auf diese Frage gibt das Tool eine genaue Antwort. „Bei unseren TRNSYS Simulationen schauen wir uns minutenweise an, ob die PV-Anlage zu Zeiten läuft, bei denen Strom im Haushalt verbraucht wird. Dabei benutzen wir eine solaroptimierte Betriebsweise der Wärmepumpe, aber keine Batterie“, erklärt Chhugani.

Die Ergebnisse für das Bestands-Einfamilienhaus stellt **Abb. 4** dar. Übers Jahr gesehen können Haushalte in den Varianten PVT + Solarwärmepumpe und PV + Luftwärmepumpe 21 beziehungsweise 20 Prozent ihres Gesamtstrombedarfs decken. Den überwiegenden Teil des Strombedarfs decken die Hauseigentümer also weiter über Netzbezug. „Mehr geht leider nicht,

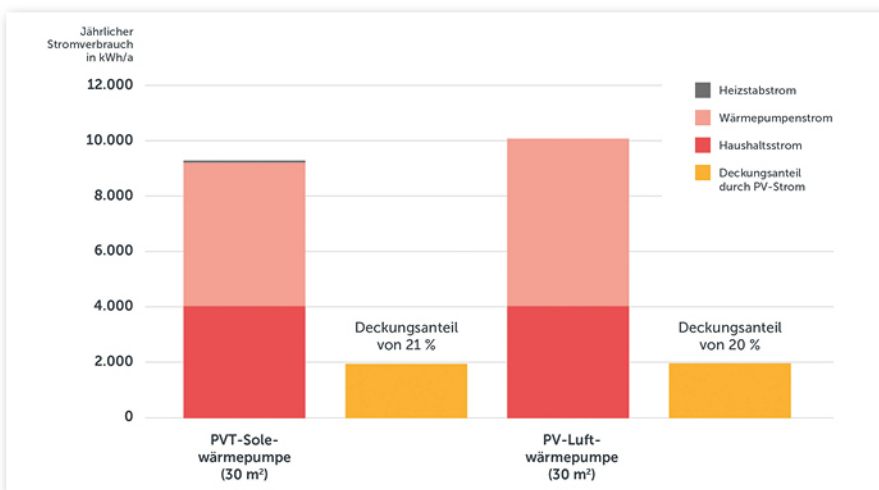
weil die Hauptbetriebszeit der Wärmepumpe im Winter ist, wenn wenig Solareinstrahlung für die PV-Anlage vorhanden ist“, erklärt Chhugani. Der Einsatz einer Batterie kann den Autarkiegrad deutlich erhöhen. Diese Variante ist im Tool derzeit jedoch nicht implementiert.

Wie das Tool rechnet

Das ISFH-Team hat sich bei der Gestaltung des Tools an die vorhandenen Normen und Richtlinien gehalten. „Für die Dimensionierung der Wärmepumpe haben wir die Richtlinie VDI 4645 genutzt, die Wirtschaftlichkeitsberechnung nach Annuitätenmethode basiert auf der VDI 2067 und die Auslegung der PVT-Flächen haben wir an der Berechnungsmethode der Kollektornorm ISO 9806 orientiert,“ erläutert Peter Pärtsch, Gruppenleiter Thermische Energiesysteme beim ISFH, der die Toolentwicklung begleitet hat. Die Annuitätenrechnung läuft über 20 Jahre, wobei im Tool ein Kalkulationszins von null Prozent voreingestellt ist. Auch Energiepreissteigerung und Inflation sind mit null Prozent angesetzt. Alle Werte können aber über Schieberegler variiert werden.

Die Tool-Entwickler weisen darauf hin, dass die VDI-Richtlinie bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung geothermische

Bild: Wärmepumpen-Vergleichstool



4 Anteil des Strombedarfs für Wärmepumpenheizung und Haushalt im Bestands-Einfamilienhaus, den eine PV-Anlage decken kann.

Wärmepumpensysteme schlechter stellt. Sie schreibt verhältnismäßig hohe Kosten für Instandsetzung, Wartung und Sonderinspektion von drei Prozent pro Jahr vor. Bei Sole- und Luftwärmepumpen liegen diese Kosten laut der Richtlinie bei 2,5 Prozent. Die Vorgaben hat Chhugani in der Annuitätenmethode berücksichtigt. Für PVT- und PV-Anlagen, für die sich in der Richtlinie keine Angaben finden, haben die Tool-Entwickler jeweils ein Prozent der Investitionskosten pro Jahr angesetzt.

Zwei wichtige Hinweise gibt das ISFH-Team mit auf den Weg: Die voreingestellten Werte beziehen sich auf das Einfamilienhaus-Bestandsgebäude. Stellen die Nutzer:innen auf einen Einfamilienhaus-Neubau um, teilt ihm die Quickinfo mit: „Bei Änderung des Gebäudetyps werden die Auslegung und die Kosten der Komponenten nicht automatisch umgestellt. Bitte unter Komponentenpreise prüfen und manuell anpassen“.

Der zweite wichtige Hinweis betrifft die Speicherfähigkeit der Ergebnisse. Jeder Datensatz kann über die Exportfunktion komplett als csv-Datei heruntergeladen werden. Die Eingabewerte wie auch die berechneten Kenngrößen sind tabellarisch übersichtlich in Gruppen aufgeteilt dargestellt. Für die Nutzer:innen gilt es dabei zu beachten: Wechselt er oder sie von einer Systemvariante zur anderen, dann sind die manuell veränderten Schieberegler wieder auf ihre Grundeinstellungen zurückgestellt und alle Eingabewerte basieren auf den Voreinstellungen. ■

▣ GEB Dossier

Grundlegende Informationen zum Thema finden Sie auch in unserem **Dossier Heizungstechnik** mit Beiträgen und News aus dem GEB:



www.geb-info.de/heizungstechnik

Links

Das Tool steht allen Interessierten kostenfrei zur Verfügung unter <https://heatpumpsystems.isfh.de/>

Weitere Infos zur Initiative IntegraTE finden Sie unter <http://pvt-energie.de>

Bärbel Epp

hat 2009 Solrico gegründet, eine Agentur für Solarmarktforschung und internationale Kommunikation. Sie ist Projektpartnerin bei IntegraTE.

epp@solrico.com



Bild: Solrico