

# WÄRMEPUMPEN-HEIZSYSTEME

## ONLINE-TOOL VERGLEICHT ENERGIEEFFIZIENZ UND KOSTEN

Sole-Wasser-Wärmepumpen können neben dem Erdreich auch Solar- und Umweltwärme aus Photovoltaisch-thermischen (PVT) Kollektoren nutzen. Ein kostenfreies Wärmepumpen-Vergleichstool bietet nun die Möglichkeit, verschiedene Varianten dieser Heizsysteme mit Sonne, Erdreich und Luft als Wärmequelle zu bewerten [1]. Somit bietet es eine Entscheidungsgrundlage für effiziente Wärmepumpenheizsysteme im Einfamilienhaus. Dazu werden Effizienz, CO<sub>2</sub>-Bilanz und Energiegestehungskosten verglichen. Die Energiegestehungskosten sind ein Mischpreis zwischen Kilowattstunden Wärme und Strom.

„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

beim Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) und Entwickler des Wärmepumpen-Vergleichstools. Dieses steht allen Interessierten kostenfrei unter zur Verfügung. Chhuganis Arbeiten sind Teil der Initiative IntegraTE zur Verbreitung von PVT-Kollektoren und Wärmepumpen im Gebäudebestand [2], die das Bundeswirtschaftsministerium finanziell unterstützt. Neben dem ISFH, dem Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE) der Universität Stuttgart und dem Fraunhofer ISE sind dafür seit Dezember 2019 gleich drei wissenschaftliche Partner gemeinsam am Start.

Im ersten Schritt kann der Nutzer des Tools aus sieben verschiedenen Systemvarianten auswählen, darunter: PVT plus Sole-Wasser-Wärmepumpe, Erdwärmesonde plus Sole-Wasser-Wärmepumpe, Luftwärmepumpe, PV plus Luftwärmepumpe.

Die Heizsystemvarianten sind grafisch dargestellt und ihre Funktion, Einsatzmöglichkeiten sowie Vor- und Nachteile werden in Textform erläutert. Im zweiten Schritt stehen zwei Haustypen zur Auswahl, entweder ein Einfamilienhaus-Neubau oder ein Bestandsgebäude.

### Tool basiert auf zigtausenden von TRNSYS-Simulationen

Der besondere Service besteht darin, dass bei allen Systemvarianten für die Auslegungs-Parameter und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bereits Werte im Tool vorgegeben sind, so dass die Nutzerinnen und Nutzer direkt Kennwerte erhalten. Vorgegeben sind unter anderem Werte für die Auslegung der Solaranlagen oder der Erdwärmesonde, sowie Energie-, Wartungs- und Komponentenpreise. Hier seien nur die voreingestellten Bruttopreise für die Hauptkomponenten der

The screenshot shows the user interface of the online tool. At the top, there are three main sections: 'Systemauswahl' (System Selection) with a gear icon, 'Systemanalyse' (System Analysis) with a bar chart icon, and the 'IntegraTE' logo. Below this, the 'Energiesysteme' (Energy Systems) section is active, showing a list of heat pump options. Under 'Wärmepumpe' (Heat Pump), there are two main categories: 'Sole-Wasser Wärmepumpe' (Groundwater/Water/Water) and 'Luft-Wasser Wärmepumpe' (Air-Water). The 'Sole-Wasser Wärmepumpe' category includes 'Photovoltaisch-Thermische (PVT)', 'Erdwärmesonde' (Groundwater probe), and combinations like 'PVT + Erdwärmesonde' and 'PV + Erdwärmesonde'. The 'Luft-Wasser Wärmepumpe' category includes 'Luftwärmepumpe' (Air source heat pump) and 'PV + Luftwärmepumpe'. The main content area displays a detailed diagram of a house with a PVT collector on the roof, a heat pump unit, and a water tank. A button labeled '» Dieses System analysieren «' (» Analyze this system «) is prominently displayed. The diagram shows the flow of energy from the collector and pump through the house's heating system. A vertical watermark on the right side reads 'Screenshot: https://heatpumpsystems.isfh.de'.

Bild 1: Startseite des Tools. Über die „Systemauswahl“ oben links und den Link „Dieses System analysieren“ kann der Anwender zwischen verschiedenen Wärmepumpenheizvarianten hin- und herspringen und energetische und wirtschaftliche Kenndaten analysieren

Systemanalyse PVT + Wärmepumpe			
Übersicht <b>Energie</b> Wirtschaftlichkeit Vergleich Diagramme System Export			
<b>Thermische Energiebedarfe</b>			
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 [-]		
<b>Elektrische Energiebedarfe</b>			
Wärmepumpe	5189 kWh <sub>el</sub> /Jahr	Haushalt	4040 kWh <sub>el</sub> /Jahr
Heizstab	71 kWh <sub>el</sub> /Jahr	Netzbezug	7340 kWh <sub>el</sub> /Jahr
Gesamter Stromverbrauch	9300 kWh <sub>el</sub> /Jahr		

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

Systeme genannt, die auf eingeholten Angeboten aus dem Jahr 2022 beruhen: 13.100,- € für die 12-kW-Solewärmepumpe, 16.550,- € für die 11,2 kW Luftwärmepumpe, 350,- €/m² für das PVT-Kollektorfeld, 100 €/m für die Sondenbohrung und 50 €/m² für die PV-Fläche. Das PVT-Kollektorfeld profitiert wie die PV-Anlage von einem Umsatzsteuersatz von 0 %. Wichtig dabei: Über einfach zu bedienende Schieberegler können die Eingabewerte flexibel angepasst werden. An allen Parametern findet man einen Quickinfo-Knopf, der konkrete Handlungsanweisungen oder weitere Erklärungen für die Anwender liefert.

Damit für eine große Anzahl von freizugebenden Parametern Ergebnisse

ermittelt werden können, hat Chhugani zigtausende von Simulationen mit der Software TRNSYS durchgeführt, deren Ergebnisse im Tool für die verschiedenen Systemvarianten unter dem Reiter „Energie“ dargestellt sind. TRNSYS ist ein flexibles, komponentenbasiertes Simulationsprogramm für komplexe thermische und elektrische Energiesysteme, das vorwiegend Wissenschaftler einsetzen.

Wichtige Energie-Kenndaten bei dem vom ISFH entwickelten Tool sind die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe, der jährliche Netzstrombezug oder der Eigenverbrauchsanteil des Solarstroms. Das Besondere: Verändert man einen Eingangsparameter mit Hilfe des Schiebereglers, wird die Bilanz zeitgleich neu

berechnet und die Kennzahlen auf der Seite „Energie“ passen sich sofort 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 die wirtschaftlichen Kenndaten zeitgleich (Bild 2).

### PVT plus Wärmepumpensysteme erreichen günstigste Energiegestehungskosten

In Tabelle 1 sind für die vier oben aufgezählten Systemvarianten die energetischen und wirtschaftlichen Kenndaten für die im Tool voreingestellten Werte zusammengestellt. Was kann man daraus ablesen?

- PVT + Wärmepumpensysteme erreichen die beste Jahresarbeitszahl-Netz mit 4,16. Hier wird der PV-Stromanteil berücksichtigt, der direkt in der Wärmepumpe genutzt wird und Netzstrombezug reduziert.
- Die Kombination Erdwärmesonde + Wärmepumpe weist den niedrigsten jährlichen Strombedarf für die Wärmepumpe auf mit 4.569 kWh<sub>el</sub>.
- Die Investitionskosten bei Solewärmepumpen sind aufgrund der Quellerschließung noch deutlich höher als bei Luftwärmepumpen. Am günstigsten schneidet hier die Luftwärmepumpe mit 28.800 € ab. Die Fördersätze der Bundesförderung für Effiziente Gebäude (BEG) Einzelmaßnahmen laut der Richtlinie von Dezember 2023 reduzieren diese Differenz nicht maßgeblich. Den Effizienzbonus von 5 Prozentpunkten erhalten nur erdgekoppelte Solewärmepumpen, da ein Bonus von 5 Prozentpunkten für natürliche Kältemittel hier nicht berücksichtigt wurde. Für alle Systeme greifen die maximal anrechenbaren Investitionskosten von 30.000,- €. Bei PVT als Wärmequelle wird zur Ermittlung der förderfähigen Kosten, sofern EEG-Vergütung in Anspruch genommen wird, pauschal 1.500,- €/kWp abgezogen.
- Die jährlichen Betriebskosten sind bei der PVT + Wärmepumpenvariante mit 3.174,- € am günstigsten. Als durchschnittlicher Standardpreis für Wärmepumpen- und Haushaltsstrom ist im Tool 30 ct/kWh brutto voreingestellt.

		PVT-Kollektorfeld (30 m²) + Solewärmepumpe (12 kW)	Erdwärmesonde (150 m) + Wärmepumpe (12 kW)	Luftwärmepumpe (11,2 kW)	PV-Module (30 m²) + Luftwärmepumpe (11,2 kW)
<b>ENERGETISCHE KENNWERTE</b>	Jahresarbeitszahl-Netz	4,16 ↑	3,91	3,07	3,51
	Jährlicher Strombedarf der Wärmepumpe	5.189 kWh <sub>el</sub>	4.569 kWh <sub>el</sub> ↓	6.050 kWh <sub>el</sub>	6.050 kWh <sub>el</sub>
<b>WIRTSCHAFTLICHE KENNWERTE</b>	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 ↓

Tabelle 1: Vergleich der energetischen und wirtschaftlichen Kenndaten aus dem Wärmepumpen-Vergleichstool für ein Bestandsgebäude mit einem jährlichen Heizwärmebedarf von 108 kWh/m². Für die BEG-Förderung wurde der Basissatz von 35 % für erdgekoppelte Solewärmepumpen und 30 % für Luftwärmepumpen und PVT-Solewärmepumpen angesetzt jeweils bis zu maximalen Investitionskosten von 30.000,- €

- 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 ct/kWh am niedrigsten.

„Es ist wichtig, die Kunden darauf hinzuweisen, dass sie mit PVT-Solewärmepumpen langfristig deutlich bei den Betriebskosten sparen können. Außerdem können die PVT-Kollektoren aufgrund von automatisierter Fertigung bei höheren Absatzzahlen noch günstiger werden,“ sagt Forschungspartner Harald Drück vom IGTE.

Der im Tool voreingestellte Preis von 350,- €/m<sup>2</sup> orientiert sich an einer Herstellerumfrage aus dem Jahr 2022, bei der acht Anbieter Nettoendkundenpreise von unabgedeckten PVT-Kollektoren gemeldet hatten, und sich daraus ein Mittelwert von 339,- €/m<sup>2</sup> ergab. Die Spreizung der gemeldeten Preise war hoch und lag zwischen 175 und 595 €/m<sup>2</sup>.

Energieberaterinnen und Energieberater schätzen das Tool für die Kundenberatung. „Bei meinen System-Beratungen 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 Auslegungsvarianten zur Kundenentscheidung objektbezogen zu berechnen und neutral gegenüberzustellen“, betont Hans Biehler. Er ist ein unabhängiger Energiesystemberater aus Rheinland-Pfalz und Vorsitzender des neuen DGS-Fachausschusses PVT.

### Deckungsanteil durch Solarstrom

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 bzw. 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 Einfamilienhaus im Bestand sind in Bild 3 dargestellt. Übers Jahr gesehen können Haushalte in den Varianten PVT + Solewärmepumpe und PV + Luftwärmepumpe 21 % bzw. 20 % ihres Gesamtstrombedarfs decken.

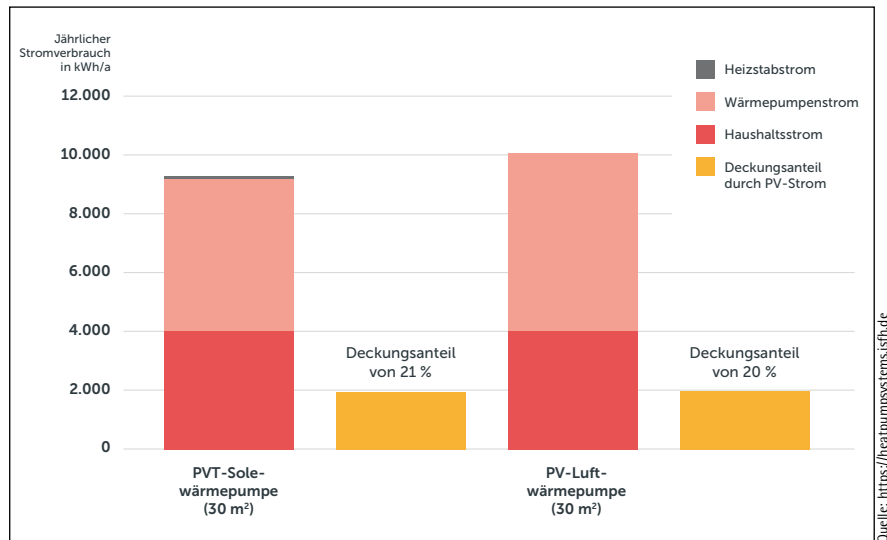


Bild 3: Anteil des Strombedarfs für Heizung und Haushalt im Bestands-Einfamilienhaus, der von selbst erzeugtem Solarstrom gedeckt werden kann

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“, sagt Chhugani. Der Einsatz einer Batterie kann den Autarkiegrad deutlich erhöhen, dies ist aber im Tool derzeit nicht implementiert.

### Quickinfos und andere wichtige Hinweise zur Tool-Nutzung

Das ISFH-Team hat sich bei der Gestaltung des Tools streng 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,“ erklärt Peter Pärish, Gruppenleiter Thermische Energiesysteme beim ISFH, der die Entwicklung des Tools begleitete. Die Annuitätenrechnung läuft über 20 Jahre, wobei hier ein Kalkulationszins von 0 % voreingestellt ist. Auch Energiepreissteigerung und Inflation sind auf 0 % angesetzt. Alle Werte können jedoch über Schieberegler variiert werden.

Die Toolentwickler weisen darauf hin, dass die VDI-Richtlinie bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung geothermische Wärmepumpensysteme schlechter stellt. Sie schreibt verhältnismäßig hohe Kosten für Instandsetzung, Wartung und Inspektion für Erdwärmesonden von 3 % pro Jahr vor. Bei Sole- und Luftwärmepumpen liegen diese Kosten laut der Richtlinie bei 2,5 %. Die Vorgaben hat Chhugani in der Annuitätenmethode berücksichtigt. Für die PVT- und PV-Anlagen, für die

es keine Angaben in der Richtlinie gibt, haben die Toolentwickler jeweils 1 % der Investitionskosten pro Jahr angesetzt.

Zwei wichtige Hinweise will das ISFH-Team zukünftigen Nutzern noch mit auf den Weg geben. Die voreingestellten Werte beziehen sich alle auf das Einfamilienhaus-Bestandsgebäude. Stellt der Nutzer auf ein 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. Wichtig für den Nutzer ist folgender Hinweis: 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.

### Quellen

- Öffentlicher Zugang zum Wärmepumpen-Vergleichstool: <https://heatpumpsystems.isfh.de/>
- Weitere Infos zu IntegraTE: <http://pvt-energie.de>

### ZUR AUTORIN:

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

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