

Energie

KOMPAKT

Offizielles
Fachmagazin
des Energie-
beraterverbands



Das Fachmagazin unabhängiger Energieberater

05 | 24

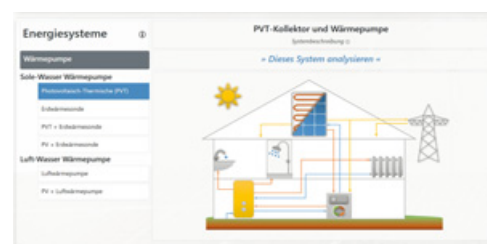
Denkmal- & Lüftungstechnik



15. Jahrgang ISSN 2192-3388 ZKZ 18323



Ökologisch saniertes Denkmal (S. 18)



Web-Tool vergleicht Energieeffizienz und Kosten (S. 26)

Entscheidungsgrundlage für effiziente Wärmepumpen im Einfamilienhaus

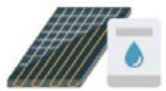



Web-Tool vergleicht Energieeffizienz und Kosten

Sole/Wasser-Wärmepumpen können neben dem Erdreich auch Solar- und Umweltwärme aus Photovoltaisch-thermischen (PVT) Kollektoren nutzen. Ein Wärmepumpen-Vergleichs-Tool bietet nun die Möglichkeit, verschiedene Varianten dieser Heizsysteme mit Sonne, Erdreich und Luft als Wärmequelle zu bewerten. Dazu werden Effizienz, CO₂-Bilanz und Energiegestehungskosten verglichen.

„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-Vergleichs-Tools. Chhuganis Arbeiten sind Teil der Initiative IntegraTE zur Verbreitung von PVT-Kollektoren und Wärmepumpen im Gebäudebestand, 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

		 PVT-Kollektorfeld (30 m ²) + Solewärmepumpe (12 kW)	 Erdwärmesonde (150 m) + Wärmepumpe (12 kW)	 Luftwärmepumpe (11,2 kW)	 PV-Module (30 m ²) + 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 ↓

Tab. 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 EUR. Die Energiegestehungskosten sind ein Mischpreis zwischen Kilowattstunden Wärme und Strom. Quelle: Wärmepumpen-Vergleichstool

Abb. 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.

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

Abb.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.

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

gleich drei wissenschaftliche Partner gemeinsam am Start. Das Tool steht allen Interessierten kostenfrei zur Verfügung. Im ersten Schritt kann der Nutzer des Tools aus sieben verschiedenen Systemvarianten auswählen, darunter

- PVT + Sole-Wasser Wärmepumpe
- Erdwärmesonde + Sole-Wasser-Wärmepumpe

- Luftwärmepumpe
- PV + Luftwärmepumpe.

Die Heizsystemvarianten sind grafisch dargestellt und ihre Funktion, Einsatzmöglichkeiten sowie Vor- und Nachteile werden in Textform erläutert. Im zweiten Schritt wählt der Nutzer eine von zwei Haustypen aus, entweder einen Einfamilienhaus-Neubau und 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 der Nutzer direkt Kennwerte erhält. Vorgegeben sind unter anderem Werte für

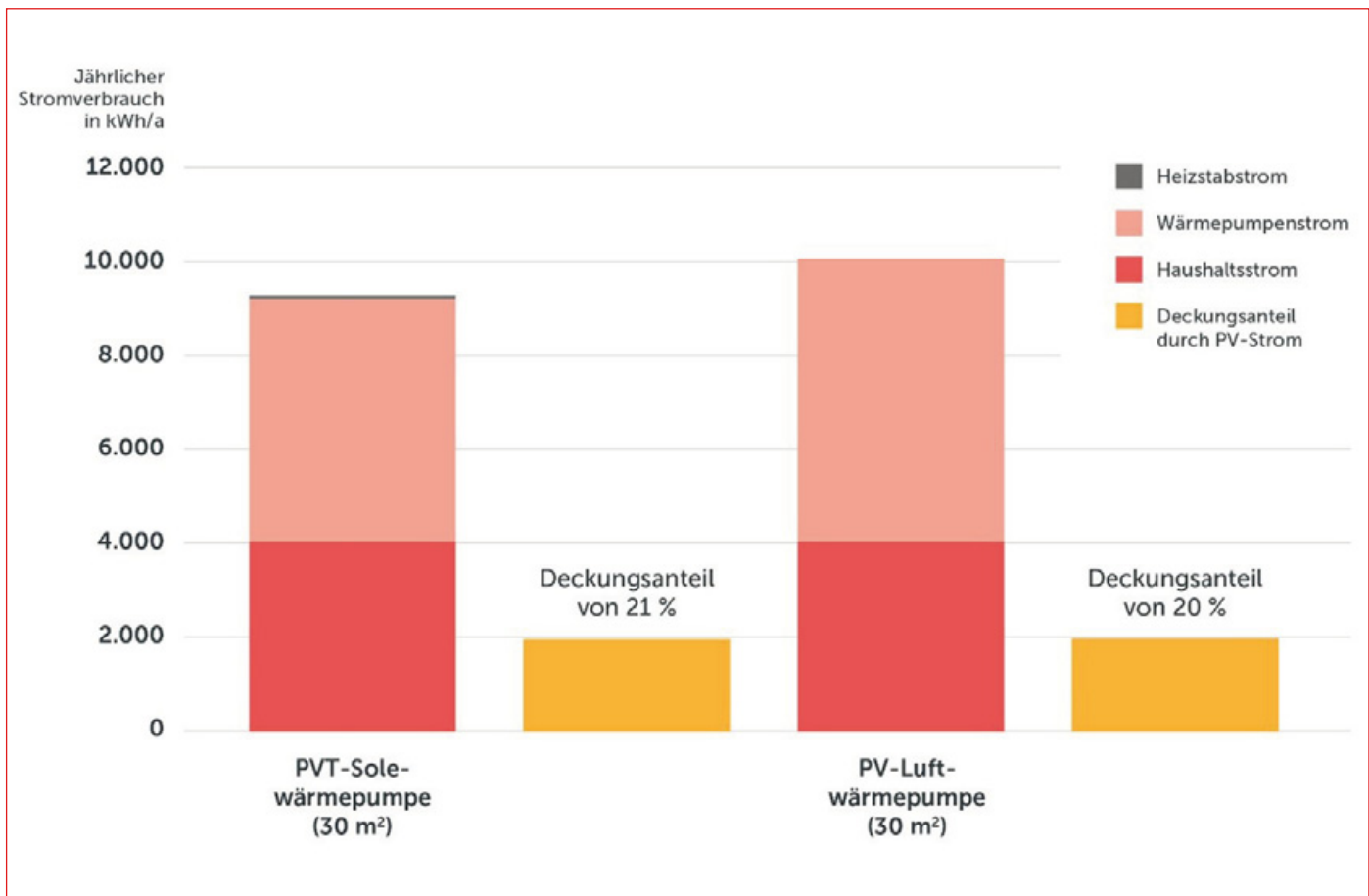


Abb.3: Anteil des Strombedarfs für Heizung und Haushalt im Bestands-Einfamilienhaus, der von selbst erzeugtem Solarstrom gedeckt werden kann. Quelle: Wärmepumpen-Vergleichstool

die Auslegung der Solaranlagen oder der Erdwärmesonde, sowie Energie-, Wartungs- und Komponentenpreise. Hier seien nur die voreingestellten Bruttopreise für die Hauptkomponenten der Systeme genannt, die auf eingeholten Angeboten aus dem Jahr 2022 beruhen: 13.100 Euro für die 12-kW-Solewärmepumpe, 16.550 Euro für die 11,2 kW Luftwärmepumpe, 350 Euro/m² für das PVT-Kollektorfeld, 100 Euro/m² für die Sondenbohrung und 50 Euro/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 Anwender alle Eingabewerte flexibel anpassen. An allen Parametern findet man einen Quickinfo-Knopf, der konkrete Handlungsanweisungen oder weitere Erklärungen für den 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 dar-

gestellt. Verändert man zum Beispiel den Schieberegler des Wärmepumpenpreises oder der aktuellen Fördersumme, verändern sich die wirtschaftlichen Kenndaten zeitgleich (Abb. 2).

Günstigste Energiegestehungskosten für PVT + Wärmepumpensysteme

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 Jahresarbeitszahlen-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 kWhel.

- Die Investitionskosten bei Solewärmepumpen sind aufgrund der Quellschließung noch deutlich höher als bei Luftwärmepumpen. Am günstigsten schneidet hier die Luftwärmepumpe mit 28.800 Euro 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. Für alle Systeme greifen die maximal anrechenbaren Investitionskosten von 30.000 Euro. Bei PVT als Wärmequelle wird zur Ermittlung der förderfähigen Kosten, sofern EEG-Vergütung in Anspruch genommen wird, pauschal 1.500 Euro/kWp abgezogen. Ein Bonus von 5 Prozentpunkten für natürliche Kältemittel wurde hier nicht berücksichtigt.
- Die jährlichen Betriebskosten sind bei der PVT + Wärmepumpenvariante mit 3.174 Euro am günstigsten. Als durchschnittlicher Standardpreis für Wärmepumpen- und Haushaltsstrom ist im Tool 30 ct/kWh 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 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,“ erklärt Chhugani.

Der im Tool voreingestellte Preis von 350 Euro/m² orientiert sich an einer Herstellerumfrage aus dem Jahr 2022, bei der acht Anbieter Nettoendkundenpreise von ungedeckten PVT-Kollektoren gemeldet hatten, und sich daraus ein Mittelwert von 339 Euro/m² ergab. Die Spreizung der gemeldeten Preise war hoch und lag zwischen 175 und 595 Euro /m². Energieberater schätzen das Tool für die Kundenberatung. „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 zent-

rale Rolle. Das Wärmepumpen-Vergleichstool hilft, die Kosten der verschiedenen Auslegungs-Varianten zur Kundenentscheidung objektbezogen zu berechnen und neutral gegenüberzustellen“, betont Hans Biehler, ein unabhängiger Energiesystemberater aus Rheinland-Pfalz.

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 Bestands-Einfamilienhaus sind in Abb. 3 dargestellt. Übers Jahr gesehen können Haushalte in den Varianten PVT + Solarwärmepumpe und PV + Luftwärmepumpe 21 % bzw. 20 % 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“, 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 Pärtsch, Gruppenleiter Thermische Energiesysteme

beim ISFH, der die Toolentwicklung begleitete. Die Annuitätenrechnung läuft über 20 Jahre, wobei im Tool ein Kalkulationszins von 0 % voreingestellt ist. Auch Energiepreissteigerung und Inflation sind auf 0 % angesetzt. Alle Werte können aber über Schieberegler vom Nutzer 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. Hier geht's zum kostenfreien Tool: <https://heatpumpsystems.isfh.de/>

*Bärbel Epp, Solrico, Bielefeld
Projektpartnerin bei Integrate*