



Solardächer doppelt nutzen

Hybrid-Kollektoren auf dem Dach liefern
Strom und Wärme



Eine naheliegende Idee: Statt verschiedene Modul- und Kollektortypen für Solarstrom und solare Wärme aufs Dach zu schrauben, einen Hybrid-Kollektor verwenden, der beides kann und ein einheitliches Erscheinungsbild ermöglicht. Zusätzlich zur photovoltaischen Stromerzeugung, die lediglich 15 – 20 % der einfallenden Sonnenstrahlung nutzt, kann ein sogenannter PVT-Kollektor die verbleibende Strahlungsenergie für die Wärmeerzeugung verwenden. Forscher arbeiten daran, die Leistung und Produktion dieser Anlagen zu optimieren.

Besonders geeignet erscheinen photovoltaisch-thermische (PVT) Hybridanlagen für Gebäude mit einem ganzjährig höheren Wärmeenergiebedarf, wie Wohnhäuser, Hotels, Heime und Krankenhäuser. Hier kommt der Vorteil der Kombi-Kollektoren besonders zur Geltung: Eine Wärmenutzung im Sommerhalbjahr sorgt dafür, dass sich die PV-Module weniger aufheizen und dadurch höheren Ertrag bringen. Falls jedoch solare Wärme nur in der Heizperiode gebraucht wird, hat dies höhere Kollektortemperaturen und dadurch deutliche Ertragseinbußen in der Photovoltaik zur Folge.

Ein großer Wärmebedarf, z. B. für solare Kühlung oder zur Beheizung eines Schwimmbades, kann den Einsatz der PVT-Technologie interessant machen. Im Winter ist es sogar möglich, den Kollektor kurzzeitig zu beheizen, um Schnee und Eis abzutauen, damit er dann wieder Energie liefern kann. Da die nutzbare Solarfläche auf Wohnhausdächern in der Regel größer ist als die zur Deckung des Wärmebedarfs erforderliche Kollektorfläche, ist es oft sinnvoll, PV- und PVT-Kollektoren zu kombinieren.

Dieses Forschungsprojekt
wird gefördert vom:

Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Neue Kollektor-Konzepte

Es gibt abgedeckte und ungedeckte PVT-Kollektoren. Forscher des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme ISE haben einen abgedeckten PVT-Kollektor entwickelt, der sehr effizient Solarwärme erzeugt. Die Kollegen am Institut für Solarenergieforschung Hameln ISFH haben eine Kombination von einem auf hohen PV-Stromertrag orientierten, ungedeckten PVT-Kollektor mit Wärmepumpe und Erdsondenwärmespeicher untersucht und modelliert; in Bayern heizt eine Hybridanlage die Räume eines Hallenbades.

Aktuell arbeiten die Entwickler an neuen Modul- und Systemkonzepten. Sie verbessern den Wärmeübergang zwischen Solarzelle und Wärmeträger, optimieren Kanalstrukturen des Absorbers, laminieren die Solarzellen direkt auf geeignete Absorber und setzen neue Materialien und Verfahren für die Zellverkapselungen ein.

Das Manko der Kombi-Kollektoren besteht darin, dass sich die beiden Nutzungen gegenseitig stören können. Solarzellen arbeiten bei niedrigen Temperaturen am effektivsten. Die Leistung kristalliner Module sinkt mit steigender Temperatur pro Grad Celsius um 0,4 bis 0,5 %, bei Temperaturen von etwa 130 °C liefern sie nur noch die halbe mögliche Stromausbeute. Solarthermie-Kollektoren erreichen jedoch leicht 90 °C – im Sommer sogar für die Folien im PV-Modul zerstörerische 200 °C, wenn bei vollem Speicher der Wärmekreislauf stoppt. Dann gibt die PV-Anlage mittags, während der eigentlich ertragsstärksten Zeit, nur noch etwa ein Achtel ihrer Nennleistung ab. Bei der Auslegung von Hybridanlagen ist also zu berücksichtigen, dass einerseits der PV-Ertrag steigt, je stärker die Module gekühlt werden, andererseits eine effektive Solarthermie höhere Temperaturen nutzt. Ziel ist eine Kompromisslösung, die für beide Nutzungen möglichst gute Ergebnisse verspricht. Geeignete Verfahren müssen die Wärmeabfuhr ohne großen energetischen Mehraufwand bzw. mit zusätzlichem Nutzen realisieren. Ein Konzept verwendet ungedeckte PVT-Kollektoren nicht als „heiße“ Wärmequelle für Warmwasser und Heizung, sondern als „kalte“ Wärmequelle für die Wärmepumpe.

Technologisch optimierter Hybridkollektor

Bisherige Systeme, bei denen das PV-Modul festgeklebt auf einem Solar-Absorber in einem verglasten Kollektorgehäuse sitzt, erreichten keine zufriedenstellende Leistung. Die zusätzliche Glasscheibe bewirkt höhere Zelltemperaturen – das schränkt den Stromertrag ein. Außerdem vermindert sich der Solarwärme-Ertrag, weil der Wärmeübergang von der Zelle zur Wärmeträgerflüssigkeit schlecht ist, und weil eine selektive Beschichtung des Absorbers fehlt, geht Wärme verloren.

Mit einem neu aufgebauten PVT-Kollektor konnten Forscher des Fraunhofer ISE nun die optischen Verluste reduzieren und die Wärmeleitung und damit den Wirkungsgrad deutlich steigern: Kristalline Solarzellen werden mit einer Ethyl-Vinyl-Acetat (EVA)-Folie direkt auf den Metallabsorber laminiert. Der Kollektor ist mit einer beidseitig antireflexbeschichteten Glasscheibe versehen, das erhöht die Transmission. Eine Polymerfolie mit angepasstem Brechungsindex deckt den Modul-Absorber-Verbund ab und reduziert die Reflexion (Abb. 1). Der neue Kollektor entstand im Rahmen des Projekts „PVTcol“ in Zusammenarbeit mit der Industrie. In einem von der DBU geförderten Folgeprojekt „PVT-max“ arbeiten die Forscher daran, den thermischen

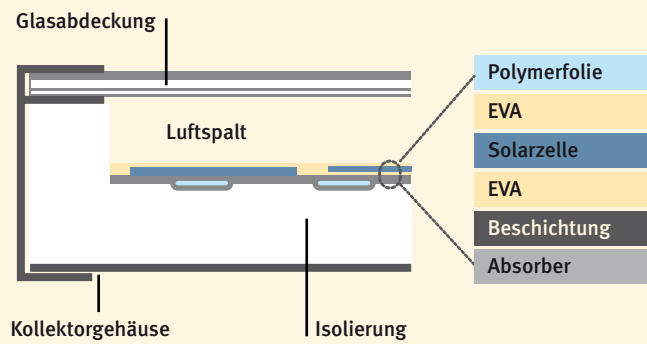


Abb. 1 Schematischer Aufbau des optimierten verglasten PVT-Kollektors. Quelle: Fraunhofer ISE

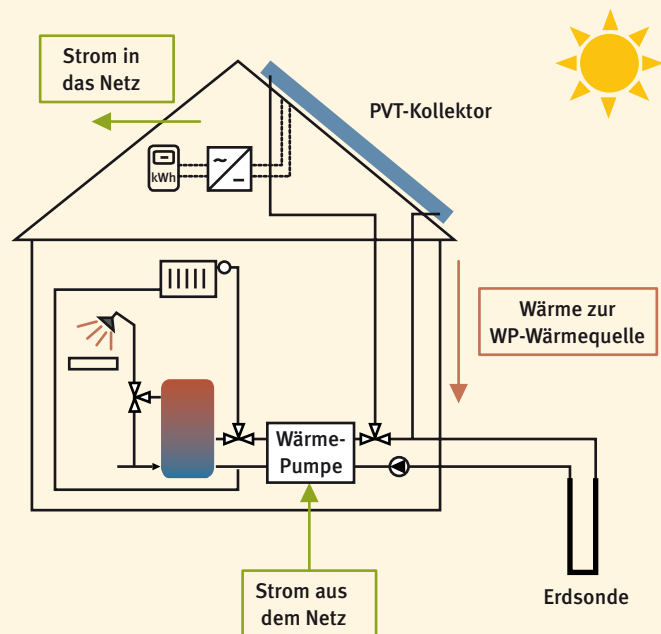


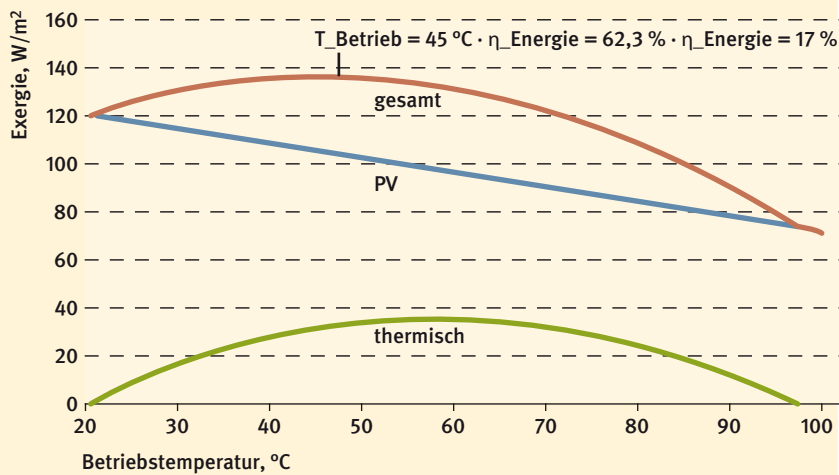
Abb. 2 Hausenergiesystem mit der Kombination von PVT-Kollektor und Wärmepumpe. Quelle: ISFH

Wirkungsgrad weiter zu steigern und eine Zerstörung des PV-Laminats aufgrund höherer Stillstandstemperaturen zu verhindern.

Pilotanlage Dreieich mit PVT-Kollektor, Erdsondenwärmespeicher und Wärmepumpe

In einem vom BMU geförderten Projekt untersuchte das ISFH ein neues Wärmeversorgungssystem mit Wärmepumpe und Erdsonde. Bei dieser Kombination wird das ungedeckte PV-Modul gekühlt, der elektrische Wirkungsgrad verbessert sich (um 10 % bei Kühlung von 60 auf 40 °C), die überschüssige Solarwärme aus dem Kollektor wird über die Erdsonde abgeleitet und gespeichert. Für die Wärmepumpe ergibt sich durch eine um 10 K höhere Temperatur der Wärmequelle eine Steigerung der Wärmepumpenarbeitszahl um ca. 1,5. Das System gewinnt also durch höhere Erträge im PV-Bereich und durch Einsparungen bei der Wärmepumpe.

Mit diesem innovativen Energiekonzept erreicht eine Pilotanlage im hessischen Dreieich (Abb. 2) eine vollständige solare Deckung des Energiebedarfs. In der für ein größeres Wohnhaus konzipierten Anlage stehen einander zum Leistungsvergleich Felder mit und ohne Kühlung gegenüber. Das



Globalstrahlung $800 \text{ W/m}^2 \cdot T_{\text{amb}} = 20 \text{ °C} \cdot \eta_{\text{PVsrc}} = 15 \%$

Abb. 3 Exergieertrag eines verglasten PVT-Kollektors in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur. Quelle: Fraunhofer ISE

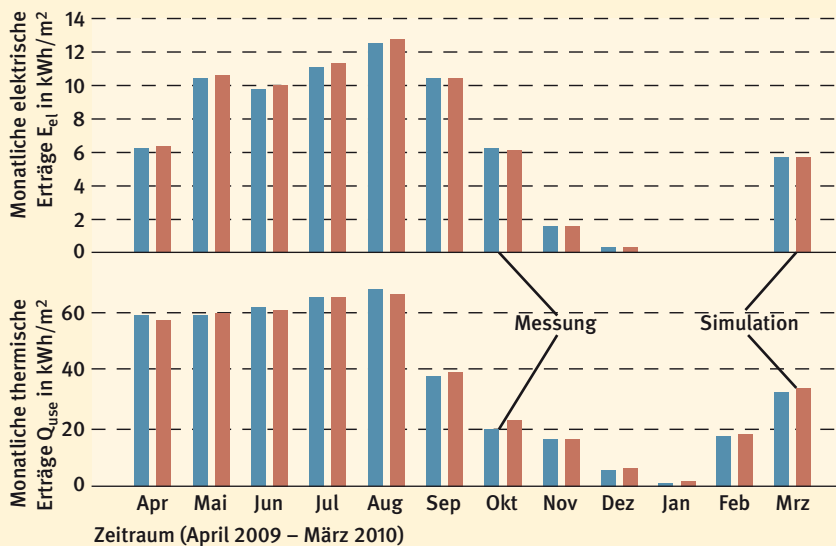


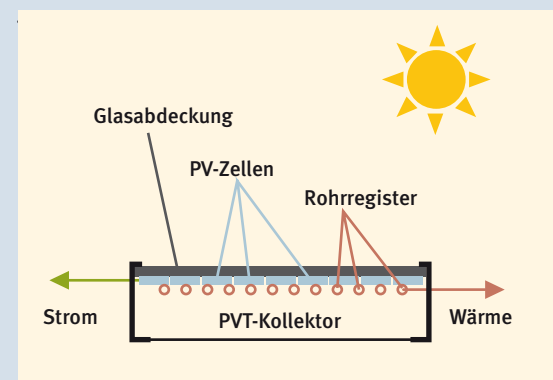
Abb. 4 Monatssummen der thermischen und elektrischen Energie aus Messung und Simulation mit dem neuen unabgedeckten PVT-Kollektor im Jahresverlauf. Quelle: ISFH

280 m²-Einfamilienhaus mit Flächenheizung ist ausgestattet mit 39 m² PVT-Kollektorfläche, zwei PV-Referenzmodulen ohne Kühlung (= 3,2 m²) sowie einer 12 kW Wärmepumpe, verbunden mit drei 75 m-Erdwärmesonden. In den zwei gemessenen Betriebsjahren kam die Wärmepumpe auf eine sehr gute Arbeitszahl von 4,2 bezogen auf den Verbraucherwärmestrom unter Berücksichtigung der Speicherverluste und des Pumpenstromverbrauchs. Pro Jahr und m² produzierten die Kollektoren einen thermischen Ertrag von etwa 450 kWh.

Mit den Solarwärme-Erträgen im Sommer regeneriert der PVT-Kollektor die Wärmequelle. Berechnungen auf Grundlage von Messungen und Simulationen ergaben, dass diese Regeneration das langfristige Auskühlen der Erdsonden verhindert und die Temperatur T_{WP}^* im Mittel um 4,3 K erhöht. Die Forscher konnten ein sehr genaues Modell der Wärmequelle aus Erdwärmesonde und PVT-Kollektor (s. Infobox) simulieren. Vergleichsmessungen über zwei Jahre ergaben: Das Kombi-System liefert einen um 4 % höheren PV-Ertrag – in besonderen Einbausituationen bzw. unter anderen klimatischen Bedingungen sind bis zu 10 % möglich. Für die Wärmepumpen-Nutzung ergibt sich eine Stromeinsparung von 10 %.

Modellierung der Leistung einer PVT-Anlage

Wichtig für die Planung von PVT-Anlagen ist es, deren Leistungsfähigkeit verlässlich einschätzen zu können. Das ISFH hat ein Kollektormodell entwickelt und erprobt, das speziell unabgedeckte PVT-Kollektoren (ohne Luftspalt zwischen oberer Glasscheibe und PV-Zelle) in Verbindung mit Wärmepumpen abbildet. Dafür nutzt das Modell ausschließlich Typenschild-Daten aus Normmessungen. Die verwendeten thermischen und elektrischen Kennlinienmodelle werden dann über die Solarstrahlung und die Zelltemperatur zu einem Modell verknüpft. Das Gesamtsystem wurde mit dem Softwaretool TRNSYS simuliert, um Leistung und Größe von Anlagen zu berechnen und diese zu optimieren. Das Simulationsmodell erlaubt die genaue Berechnung der thermischen und elektrischen Kollektorleistung sowie die Betriebstemperatur der PV-Zelle. Eine Validierung anhand einer vollständigen Jahresmessung einer Anlage belegt die Genauigkeit des Modells: Der simulierte thermische Jahresertrag weicht nur 1,7 %, der elektrische 1,4 % von der Messung ab und liegt damit innerhalb der Messunsicherheit.



Schematische Darstellung eines unabgedeckten photovoltaisch-thermischen (PVT-) Kollektors (Quelle: ISFH)

Pilotanlage Kümmerbruck produziert Strom und heizt Hallenbad

Bei dieser PVT-Anlage heizt die Wärme der Photovoltaikmodule über ein spezielles Absorbersystem Luft für ein Hallenbad im bayerischen Kümmerbruck. Die Anlage wurde entwickelt von der Hochschule Amberg-Weiden und der Firma Grammer Solar und vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gefördert. Sie liefert mit ca. 130 m² Photovoltaik-Modulfläche eine elektrische Leistung von ca. 16 kW_{peak}. Sie wird rückseitig über einen Luftstrom gekühlt, die Abwärme von ca. 50 kW_{peak} reduziert den Lüftungswärmebedarf der Schwimmhalle. Der PV-Energieertrag war um über 5 % höher als der einer nicht gekühlten Vergleichsanlage. Die Anlage ist so ausgelegt, dass sie am Optimum der Photovoltaik betrieben wird, nicht am Optimum der Solarthermie.

Solche Hybridkollektoren können große Luftmengen auf relativ niedrigem Temperaturniveau liefern. Am günstigsten ist es, wenn sie über das ganze Jahr Abnehmer wie Trocknungsanlagen und Schwimmhallen versorgen oder bei Prozesswärme-Anlagen Luft vorwärmen.



Kombination steigert die Flächenleistung

Auch wenn kommerzielle PVT-Kollektoren wirtschaftlich und vom Wirkungsgrad her bisher noch nicht so recht überzeugen konnten, wird die Technologie mit innovativen Systemkonzepten, neuen Werkstoffen und optimierten Fertigungs- und Produktionsverfahren an Wettbewerbskraft gewinnen.

Entscheidend ist es, die Wärme- und Stromproduktion eines Moduls so abzustimmen, dass das Kombi-System gegenüber der Addition der Einzeltechnologien klare Vorteile bringt. Forscher arbeiten insbesondere daran, den Gesamtertrag und die Stagnations-sicherheit dieser Systeme zu optimieren sowie die Kosten zu reduzieren.

Der denkbare Einsatzbereich für diese neue Form der Kraft-Wärme-Kopplung ist groß: PVT-Anlagen können neben der Erzeugung von PV-Strom heizen, klimatisieren und kühlen, ebenso auch Prozesswärme und Prozesskälte für Industrie- und Gewerbebetriebe bereitstellen. Speziell bei Mehrfamilienhäusern und anderen beständigen Wärme(groß)-Verbrauchern sind in Mitteleuropa abgedeckte PVT-Kollektoren zur Warmwasserbereitung als Technologie für Großanlagen mit niedrigem solaren Deckungsanteil einsetzbar. In Südeuropa könnten sie eine Option zur Warmwasserversorgung von Einfamilienhäusern sein. PVT-Anlagen, speziell auch solche mit Luftkollektoren, können für Großverbraucher mit ganzjährigem Wärmebedarf interessant sein. In ungedeckter Bauform ergeben sich in Kombination mit Wärmepumpen sogar ganz neue Anwendungsbereiche wie die solarthermische Erdreichregeneration mit dem PVT-Kollektor. Neben der elektrischen Stromersparung an der Wärmepumpe können Erdwärmsonden so beispielsweise mit geringerem Abstand und ohne den Effekt des langfristigen Abkühlens gebaut werden. Solardächer und -fassaden mit architektonisch perfekt in die Gebäudehülle integrierten PVT-Kollektoren werden die energieoptimierte Bauweise der Zukunft kennzeichnen. Als Bestandteile multifunktionaler Fassadensysteme können sie den Flächen-Energieertrag steigern und gleichzeitig zur Wärmedämmung beitragen. Auf gleicher Dachfläche lässt sich durch den Einsatz von PVT-Modulen die Leistung um bis zu 15 % steigern, versprechen Hersteller. Das Fraunhofer ISE erwartet längerfristig bis zu 50 % bei verglasten Kollektoren. Der größere Aufwand für Konstruktion und hydraulische Einbindung der PVT-Module lohnt sich, wenn zusätzlich zum besseren PV-Ertrag die gewonnene Wärme konsequent für Heizung, Kühlung oder Klimatisierung genutzt werden kann.

Projektorganisation

Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
11055 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Peter Donat
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0325952A,B

Impressum

ISSN
0937 - 8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe GmbH · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Gerhard Hirn

Titelbild
Institut für Energietechnik IfE GmbH,
Hochschule Amberg-Weiden

Urheberrecht
Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Projektbeteiligte

- » Projekt BiSolar-WP (FKZ 0325952A,B): Institut für Solarenergieforschung Hameln ISFH, Hameln, www.isfh.de | Gesellschaft zur Entwicklung und Förderung von Geothermen Anlagen mbH (GEFGA), Limburg an der Lahn, www.gefga.de
- » Projekt PVTcol: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, www.ise.fraunhofer.de
- » Pilotanlage Kümmersbruck: Institut für Energietechnik IfE GmbH, Hochschule Amberg-Weiden, www.haw-aw.de | Grammer Solar, Amberg, www.grammer-solar.com

Links und Literatur

- » www.forschungsjahrbuch.de
- » Bertram, E.; Kirchner, M.; Rockendorf, G. u. a.: Solarthermie 2000+: Solare Gebäude-Wärmeversorgung mit unverglasten photovoltaisch-thermischen Kollektoren, Erdsonden und Wärmepumpen für 100% Deckungsanteil. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben. Institut für Solarenergieforschung GmbH, Hameln (Hrsg.). 2011. FKZ 0325952A,B
- » Dupeyrat, P.; Hermann, M.; Stryi-Hipp, G. u. a.: Optimierter photovoltaisch-thermischer Hybridkollektor. In: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) (Hrsg.): Jahresbericht 2010. S. 46
- » Ebert, V.; Günther, R.; Kremer, Z. u. a.: Fahrplan Solarwärme. Strategie und Maßnahmen der Solarwärme-Branche für ein beschleunigtes Marktwachstum bis 2030. BSW – Bundesverband Solarwirtschaft e.V., Berlin (Hrsg.). 2012. 231 S.

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen und Links.
- » BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
Tel. 0228 92379-0
Fax 0228 92379-29
kontakt@bine.info
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages