



Neubau der Grundschule Gronau (Leine) als Plusenergie-Schule mit gebäudeintegrierter Photovoltaikanlage.

# Elegant Strom und Wärme gewinnen

Gebäudeintegrierte PV(T)-Anlagen im Rahmen ganzheitlicher Energiekonzepte

von Carsten Grobe

Gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen sind aufgrund des erhöhten Planungsaufwandes nach wie vor ein Nischenmarkt. Dabei bieten sie aufgrund ihrer architektonischen Qualität ein enormes Potenzial. Sie ersetzen die übliche Dacheindeckung, sind regendicht, bieten durch den Einsatz von Blindmodulen an Dach-Randbereichen oder Dacheinbauten (z. B. Fenster oder Schornsteine) ein einheitliches Erscheinungsbild und erfüllen somit den Anspruch an ein ökologisch und optisch hochwertiges Gebäude. Durch den Entfall der Dacheindeckung z. B. mit Ziegeln können rund 40 % der Kosten für eine Indach-Photovoltaikanlage gegengerechnet werden, somit sind sie letztlich wirtschaftlicher als Aufdach-Anlagen. Die Verlegung nach dem Überschupungsprinzip sorgt für die Dichtigkeit des Systems und eine Hinterlüftung jedes einzelnen Moduls.

Die gebäudeintegrierten Montagesysteme werden stetig weiterentwickelt, auch im Hinblick auf die Kombination mit Solarthermie, wie z. B. das Indach-PVT-System der nD-System GmbH. Wird eine Indach-Photovoltaikanlage ohne zusätzlichen Flächenbedarf mit Solarthermie gekoppelt, spricht man von einer gebäudeintegrierten photovoltaisch-thermischen (PVT)-Anlage. Dabei handelt es sich um einen ungedämmten (unabgedeckten) PVT-Kollektor, bei dem der Wärmeübertrager unter dem PV-Modul angeordnet ist. Die gewonnene Wärme hinter den PV-Modulen kann als Wärmequelle für eine Wärmepumpe sowie zur Regeneration von Erdwärmekollektoren/Erdwärmesonden und zur Warmwasserbereitung genutzt werden. Überschüssige Abwärme aus Kühlprozessen kann über die Kollektorflächen abgeleitet werden.

### Kombination mit Wärmepumpe und Geothermie

Ein photovoltaisch-thermischer Kollektor dieser Art sollte in Kombination mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe eingesetzt werden. So können die PVT-Kollektoren auf dem Dach (mittel-

bar) Wärme auf hoher, nutzbarer Temperatur liefern und herkömmliche Wärmequellen, wie Erdsonden, Erdkollektoren oder Grundwasserbrunnen, teilweise oder vollständig ersetzen. Besonders interessant ist diese Technik für Gebäudetypen mit einem hohen Trinkwarmwasser- und Heizwärmebedarf im Sommer, also z. B. Wohngebäude, Schwimmbäder und Hotels, oder in städtischen Gebieten, in denen keine Sonden oder Flächenkollektoren möglich sind. Das System punktet zudem als geräuschlose Alternative zur Luft-Wasser-Wärmepumpe.

Auch im Kühlfall spielt das System seine Vorteile aus: Nun fungieren die PVT-Module nicht mehr als Wärmequelle, sondern als Wärmesenke. Das heißt, Wärmeenergie aus dem System wird an die Außenluft abgegeben. So kann die flexible Technologie zur Kühlung hochgedämmter Gebäude im Sommer beitragen.

Eingebunden in ein Anlagensystem mit Wärmepumpe und Erdsonden kann die überschüssige Wärme zur thermischen Regeneration des Erdreichs genutzt werden.





Dänischer Expo-Pavillon in Hannover mit gebäudeintegrierter PVT-Anlage auf dem Hauptgebäude.

In größeren geothermischen Wärmepumpenanlagen mit einem mehrreihigen Sondenfeld beeinflussen sich die Erdwärmesonden stark gegenseitig, aber auch in dichtbesiedelten Gebieten können Erdwärmesonden über die Grundstücksgrenze hinweg beeinflusst werden. Wird dem Erdreich ausschließlich Wärme entzogen (reiner Heizbetrieb) reicht der natürliche Wärmetransport mitunter nicht aus, um das Temperaturniveau stabil zu halten. In der Folge sinkt die mittlere Erdreichtemperatur von Jahr zu Jahr ab, die Effizienz der Wärmepumpe verschlechtert sich und es drohen Schäden durch den Frost-Tau-Wechsel. Bei den genannten photovoltaisch-thermischen Kollektoren kann die Geothermie mit der Absorptionswärme der PV-Module regeneriert werden, welche durch die Kühlung einen höheren Stromertrag liefern können.

Durch den Einsatz von PVT-Kollektoren lässt sich also das langfristige Absinken der Temperatur im Erdreich verhindern, was wiederum den Wärmeertrag pro Sondenmeter erhöht und die Effizienz der Wärmepumpe verbessert. Die Erhöhung der spezifischen Entzugsenergie durch die Regeneration ermöglicht eine kleinere Dimensionierung des Sondenfelds und damit erhebliche Einsparungen bei den Investitionskosten.

Für Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit ist die Systemeinkbindung der PVT-Kollektoren, der Wärmepumpe, des Heizwasserspeichers, des Heizverteilsystems und der Energieverbraucher bzw. Wärmeverbraucher des Gebäudes entscheidend. Wie bei vielen regenerativen Systemen ist für hohen Ertrag bzw. hohe Effizienz neben der Abstimmung von Hydraulik und Temperaturniveau eine intelligente Regelung nötig. Diese sollte sowohl den Wärmebedarf gebäudeseitig als auch das Angebot an Solareinstrahlung bzw. Umweltwärme dynamisch berücksichtigen. Eine mittelzeitige Entkopplung wird durch einen groß dimensionierten Wärmespeicher möglich. Die Regelung sollte zudem witterungsprognosebasiert arbeiten und den Wärmespeicherstatus dynamisch und stetig erfassen bzw. einregeln.

### Beispiel Dänischer Expo-Pavillon, Hannover

Das Zusammenspiel der PVT-Technologie mit Wärmepumpe und verschiedenen Erdreich-Wärmequellen wurde im Gebäudekomplex des ehemaligen Dänischen Expo-Pavillons in Hannover realisiert und sorgt für ein innovatives Gebäudegesamt-konzept.

Der Dänische Pavillon wurde vom Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus zu einem hoch energieeffizienten Büro- und Veranstaltungsgebäude saniert. Ziel der Sanierung war es, ein öffentlichkeitswirksames Gebäude mit hoher ökologischer Innovationskraft zu erstellen sowie die innovative Architekturgestaltung der damaligen Expo beizubehalten. Die energetische Ausrichtung war der Passivhausstandard im Bestand (EnerPHit) und eine sehr hohe Deckung durch erneuerbare Energien. Als Plusenergiegebäude soll der Pavillon eine zukünftig positive Energiebilanz aufweisen.

Der Energiebedarf für Heizen, Kühlen und Strom konnte zunächst mit passiven Maßnahmen (hochwertiger Wärmeschutz, hocheffiziente Wärmerückgewinnung, LED-Beleuchtung etc.) stark reduziert werden. Der noch existierende Restenergiebedarf kann nahezu vollständig über erneuerbare Energien gedeckt werden. Das gesamte Konzept folgt dabei dem Gedanken der optimierten Lebenszykluskosten.

Um das Dach des Bürotrakts entsprechend auf Passivhausstandard zu dämmen, wurde ein zusätzlicher Dachhohlraum mittels neuer Sparren auf das vorhandene Dach aufgesetzt und mit über 30 cm recycelter Zellschuldämmung ausgeblasen. Anstelle einer konventionellen Dachhaut wurde dann eine gebäudeintegrierte PVT-Anlage eingesetzt.

Das Herzstück der Gebäudetechnik ist die gebäudeintegrierte, regendichte photovoltaisch-thermische Anlage in Verbindung mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden und -kollektoren zur vollen Deckung von Heiz- und Kühlbedarf sowie zur Stromerzeugung. Die Beheizung der Gebäude wurde vom bestehenden Gaskessel (250 kW) komplett auf eine 60 kW WP-PVT-Anlage umgestellt, die – zusammen mit einer Luft-



## Vorteile einer gebäudeintegrierten Photovoltaikanlage

- Indachsystem, d. h. Solarmodule statt Dachziegel
- regendichte Dacheindeckung für Neubau und Sanierungen
- die üblichen Dachdeckungskosten werden eingespart und die Energie für die Herstellung der Dachziegel entfällt
- weniger als die Hälfte der Eigenlast im Vergleich zu Dachziegeln
- vollständige, architektonische Integration von Photovoltaik, Dachfenstern, Solarthermie und Blindplatten für sonstige Dacheinbauten
- Einbaumöglichkeit von Lichtlenksystemen und Tageslichtröhren
- Ertragssteigerung durch Hinterlüftung jedes einzelnen Moduls
- Leistungssteigerung durch rahmenlose, schmutzkantenfreie Module
- keine Montagehaken, die zu Mikroverschattungen oder Verschmutzung der Zellen führen können
- keine Gummidichtungen, die porös werden können
- optimale Flächennutzung dank rahmenloser Module und Verlegung nach dem Überschuppungsprinzip
- Unterdach ist diffusionsoffen mit ökologischen Baustoffen ausführbar
- Module können einzeln entnommen werden
- langlebiger als herkömmliche Dacheindeckungen (z. B. Dachziegel)
- Zulassung als harte Bedachung möglich
- Befestigung ohne Verschraubung und Durchdringung der Folie möglich
- verbesserter UV-Schutz bei Flachdächern gegenüber aufgeständerten PV-Anlagen
- System auch für Fassaden geeignet

## Zusätzliche Pluspunkte einer PVT-Anlage

- Stromerzeugung durch Photovoltaik und Wärmeerzeugung durch Solarthermie auf der gleichen Fläche; dadurch gleiches optisch hochwertiges Erscheinungsbild wie bei einer Indach-Photovoltaikanlage
- Wärmeerzeugung durch Ausnutzung der Umgebungstemperatur
- Kälteerzeugung durch die Möglichkeit der Wärmeabgabe über die Kollektoren, insbesondere nachts
- eine Unterkonstruktion und daher nur eine Montage erforderlich
- höherer Ertrag der PV-Module durch die Wärmeabfuhr
- die PV-Module können im Winter von Schneedecken befreit werden und somit auch an sonnigen Wintertagen Ertrag liefern
- direkte Nutzung der anfallenden Kollektorwärme zur Regeneration von Eisspeichern, Erdwärmesonden sowie Schwimmbaderwärmung
- architektonisch ansprechende Gestaltung des Daches bzw. der Fassade



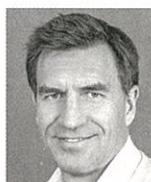
Montage der Indach-PVT-Anlage auf dem Dänischen Pavillon in Hannover.

Luft-Wärmepumpe als sekundäre Wärme-/Kälteanlage in einem der drei Nebengebäude – die Nutzfläche von ca. 1600 m<sup>2</sup> heizt und kühlt. Zusätzlich erfolgt eine passive Kühlung über die PVT-Kollektoren und über das Erdreich. Die PVT-Kollektoren übernehmen somit vier Funktionen: Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung und die regendichte Dacheindeckung. Der solar erzeugte Strom wird vorrangig selbst genutzt, u. a. auch durch die vier firmeneigenen sowie vier öffentlichen Ladepunkte für Elektrofahrzeuge. In der Bilanz kann der Energiebedarf des Dänischen Pavillons vollständig über erneuerbare Energien gedeckt werden.

Die Anlagenregelung sorgt für ein fein abgestimmtes Quellenmanagement. Abhängig von den quellenseitig vorherrschenden Temperaturen werden die PVT-Kollektoren, Erdkollektoren und Erdsonden zu- oder abgeschaltet. Somit wird der Wärmepumpe ein optimales Temperaturniveau für einen effizienten Betrieb geboten. In der Kühlperiode wird die Abwärme aus dem Gebäude sowie der Anlagentechnik zur thermischen Regeneration des Erdsondenfeldes genutzt.

Wesentliche Elemente dieses innovativen PVT-Wärmepumpenanlagenkonzepts sind:

- Sole-Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit Erdwärmesonden (sechs Stück, je 100 m tief) und Erdwärmekollektoren (360 m<sup>2</sup>)
- photovoltaisch-thermische Solarkollektoren (PVT-Kollektoren) als Indach-System auf dem Hauptdach als zusätzliche Wärmequelle für die Wärmepumpe sowie zur Regeneration des Erdreichs (325 m<sup>2</sup> PV, davon 230 m<sup>2</sup> thermisch hinterlegt)
- Anpassung des Heiz-/Kühlsystems auf niedrige Systemtemperaturen für eine hohe Wärmepumpeneffizienz (max. VL 45 °C/RL 38 °C)
- Batteriespeicher (54 kWh) und E-Tankstellen mit Lastmanagement zur PV-Eigenstromverbrauchserhöhung und Netzentlastung



CARSTEN GROBE, Dipl.-Ing., Architekt, gründete im Jahr 2000 sein Büro, um Leistungen der Architektur und TGA für lebenszykluskostenoptimierte Gebäude aus einer Hand anbieten zu können. Der Schwerpunkt liegt im Bereich der Planung von Nichtwohngebäuden sowohl im Passivhausstandard wie auch als Plusenergiegebäude. Er ist gefragter Referent sowie Autor zahlreicher Fachbeiträge. [www.passivhaus.de](http://www.passivhaus.de)