

Solares Kühlen von Gebäuden Sonnenwärme zum Kühlen

Solaranlagen zur thermischen Nutzung der Sonnenenergie werden bisher fast ausschließlich zur Trinkwassererwärmung, Heizungsunterstützung und Schwimmbadwassererwärmung eingesetzt. Neben diesen drei klassischen Anwendungen etabliert sich zurzeit ein weiteres Einsatzfeld: Thermische Solaranlagen liefern die (Antriebs-) Energie zur Gebäudeklimatisierung. Europaweit sind bereits über 50 Anlagen zur solaren Klimatisierung in Betrieb.



Vakuum-Röhrenkollektoren mit einer Absorberfläche von 240 m² sorgen für kühle Luft im Bundespresseamt

Das Kühlen bzw. Klimatisieren von Räumen, insbesondere in Bürogebäuden, dient dem Wohlbefinden sowie dem Erhalt der Leistungsfähigkeit der darin arbeitenden Menschen. Klimatisierung ist aber auch aus technischen und hygienischen Gründen in EDV-Räumen, Laboratorien und bei der Lebensmittellagerung erforderlich. Werden dazu konventionelle, elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen eingesetzt, führt dies vor allem in den warmen Sommermonaten zu hohen Stromverbräuchen, die größtenteils in Spitzenlastzeiten auftreten und entsprechend hohe Kosten verursachen.

Eine Alternative sind Kältekonzepte, die als Antriebsenergie Wärme statt elektrischen Strom verwenden. Kombiniert mit einer thermischen Solaranlage kann der Energiebedarf für die Gebäudekühlung je nach Anwendungsfall teilweise oder vollständig von der Sonne gedeckt werden. Besonders vorteilhaft ist dabei, dass in den Monaten mit der größten Kühl-last auch ein überdurchschnittlich großes Angebot an Sonnenenergie verfügbar ist (Bild 2).

Solare Kälte im Bundespresseamt

Eine der ersten Anlagen zur solaren Kälteerzeugung in Deutschland wurde im Jahr 2000 im Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Bundespresseamt) installiert. Mit dem Umzug der Bundesregierung nach Berlin wurden ein Presse- und Besucherzentrum, eine Bibliothek sowie verschiedene technische Sonderbereiche und umfangreiche Büroflächen für 450

Mitarbeiter geschaffen. Dabei mussten verschiedene bestehende Gebäude genutzt werden, die ein 120 m langer Neubau aus Glas unmittelbar vor der Giebelwand des ehemaligen Postscheckamtes miteinander verbindet (Bild 3).

Zwischen der Glasfassade des Neubaus und der Fassade des ehemaligen Postscheckamtes sind Kühlregister angeordnet, die durch Konvektion der Luft die innere Fassadenfläche abkühlen. Dieses Schwerkraftkühlsystem wird von zwei Absorptionskältemaschinen mit zusammen 105 kW Kälteleistung gespeist, die ihre Antriebsenergie als Wärme aus einem Solarkollektorfeld beziehen. Das 240 m² große Kollektorfeld besteht aus direkt durchströmten Vakuum-Röhrenkollektoren (Vitosol 200) und ist auf dem Dach des Neubaus installiert.

Zwei Speicherbehälter mit jeweils 800 l Inhalt dienen der hydraulischen Entkopplung von Solaranlage und Absorptionskältemaschinen. Überschüssige, solar

erzeugte Kälte kann über das zentrale Kältenetz in anderen Gebäudeteilen genutzt werden. Hierzu gehört auch der EDV-Bereich mit seinem ganzjährigen Kältebedarf. Kann der Kältebedarf der Giebelwand nicht vollständig durch die Solaranlage gedeckt werden, ist durch den Anschluss an die Fernwärmeversorgung ein so genanntes thermisches Backup-System vorhanden. Im Winterhalbjahr, wenn keine Kühlung erforderlich ist, wird die Solarwärme unterstützend zur Raumheizung genutzt.

Überblick über die Technik

Das im Bundespresseamt verwendete Verfahren der solaren Kühlung zählt zu den so genannten Kaltwasserverfahren, bei denen Wasser zum Abtransport der Wärme aus den Räumen bzw. Gebäudebereichen in einem geschlossenen System zirkuliert. Für solar unterstützte Kühlprozesse mit zentraler Anlagentechnik werden in Deutschland derzeit vor allem zwei Verfahren angewendet:

Bild 2 Verlauf der eingestrahelten Energie-Tageswerte über ein Jahr

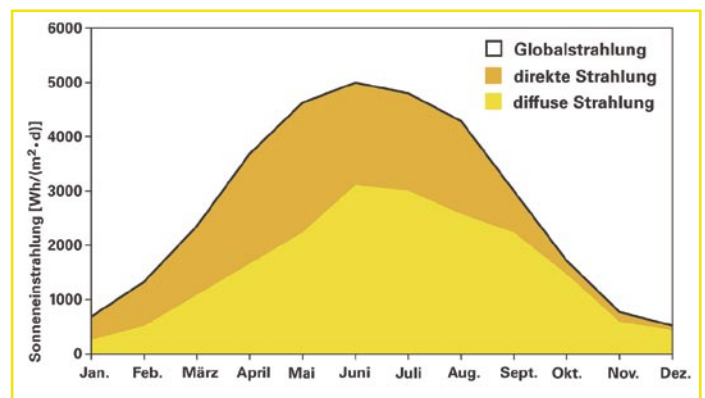


Foto: Viessmann



Bild 3 Solar gekühlte Giebelwandbebauung im Neubau des Bundespresseamtes

- In geschlossenen Systemen arbeiten thermisch angetriebene Kältemaschinen (Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen) zur Erzeugung von Kaltwasser. Dieses Kaltwasser wird entweder zur Kühlung – und zum Teil auch zur Entfeuchtung – der Zuluft genutzt, oder es wird über ein Kaltwassernetz zu dezentralen Kühlaggregaten in die verschiedenen Räume geleitet. Ist zusätzlich eine Entfeuchtung der Luft erforderlich, werden entsprechend niedrige Kaltwassertemperaturen zur Kondensation eines Teils des Wasserdampfs aus der Luft benötigt.
- Bei den offenen Systemen handelt es sich immer um Lüftungsanlagen. Da das „Kältemittel“ (oder Wasser) in direktem Kontakt mit der zu behandelnden Luft steht, werden diese Anlagen als „offene Systeme“ bezeichnet.

Für die geschlossenen bzw. offenen Verfahren werden Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen bzw. Sorptionsanlagen zur zentralen Kälteerzeugung in verschiedenen Leistungsklassen angeboten (Tabelle 1). Wesentliche Entscheidungskriterien für die Auswahl der Technik sind die Zieltemperatur des Kältemittels und Temperatur des Wärmelieferanten.

Planungshinweise

Die Auslegung einer solarbetriebenen Kälteanlage unterscheidet sich auf der Verbrauchsseite nicht von einer konventionellen Anlage zur Gebäudekühlung. In einer Simulation werden das Kühllastver-

halten und ein dazu passendes Lastprofil des Gebäudes ermittelt. Auf dieser Grundlage können die Größe der Kühlflächen sowie Art und Leistung der Kältemaschine festgelegt werden. Den Herstellerangaben der Kältemaschine bzw. der Sorptionsanlage sind die notwendigen Vorlauftemperaturen, die Spreizung und die für den Antrieb erforderliche Wärmeleistung zu entnehmen. Zur Bestimmung der effektiven Leistungszahl (COP: coefficient of performance, Verhältnis von momentaner Kühlleistung zur aufgenommenen Antriebsleistung) müssen Temperaturen und Spreizungen auf beiden Seiten der Kältemaschine bekannt sein bzw. festgelegt werden.

Für die Auslegung und optimale Einbindung der Solaranlage sowie für die Festlegung der notwendigen Speicherkapazität ist bei der Simulationsberechnung auf eine möglichst kleine Auflösung des Lastprofils zu achten. Maßgebend für

die Dimensionierung des Kollektorfelds und der Pufferspeicher ist der Kälteenergiebedarf auf der Verbrauchsseite. Die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf im Solarkreis ist an der vorgegebenen Spreizung der Kältemaschine orientiert, um nicht unnötig hohe Vorlauftemperaturen über die Kollektoren zur Verfügung stellen zu müssen. Daraus ergeben sich im Kollektorfeld vergleichsweise hohe Volumenströme in einer Größenordnung von etwa 80l/(h·m²) (Bild 4).

Die mit einer Reihe von Anlagen zur solaren Klimatisierung gesammelten Erfahrungen zeigen, dass teilweise auf einen Plattenwärmeübertrager zwischen Kollektorfeld und Pufferspeicher verzichtet werden kann. Das Wasser-Glykol-Gemisch des Solarkreises wird dann über den Pufferspeicher direkt in die Kältemaschine geleitet (Bild 5). Dadurch entfällt der am Plattenwärmeübertrager unvermeidliche Temperaturverlust. Außerdem werden die Kosten für den Wärmeübertrager und die Umwälzpumpe im Sekundärkreis eingespart. Voraussetzungen dafür sind unter anderem, dass sowohl die Kältemaschine als auch der konventionelle Wärmeerzeuger für die eventuell erforderliche Nacherwärmung mit dem Wasser-Glykol-Gemisch arbeiten können.

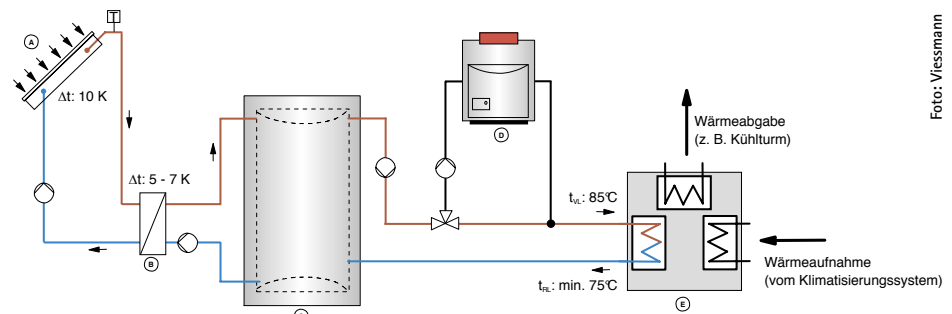


Bild 4 Solaranlage zur Klimatisierung (vereinfachtes Anlagenschema)

- Legende:
 A – Kollektoranlage
 B – Plattenwärmetauscher
 C – Pufferspeicher
 D – Wärmeerzeuger
 E – z. B. Absorptionskältemaschine
 t_{VL} – Vorlauftemperatur
 t_{RL} – Rücklauftemperatur

Verfahren	Geschlossene Systeme		Offene Systeme
Technik	Absorptionskältemaschine	Adsorptionskältemaschine	sorptionsgestützte Klimatisierung
Stoffsysteme (Kälte-/Sorptionsmittel)	Wasser/Lithiumbromid oder Ammoniak/Wasser	Wasser/Silikagel	Wasser/Silikagel
Kälteträger auf der Verbrauchsseite	Wasser oder Wasser-Glycol	Wasser	Luft
Kältetemperaturbereich in °C	-40 bis 20	5 bis 20	16 bis 20
Antriebstemperatur (in °C)	85 bis 140	55 bis 100	55 bis 110
Kühlleistung (in kW)	10 bis 5000	70 bis 350	6 bis 300

Tabelle 1 Überblick über die gängigste Anlagentechnik zur solaren Kühlung

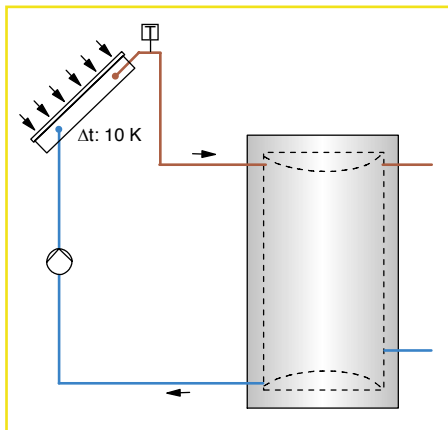


Bild 5 Solarkreis mit direkter Anbindung an den Pufferspeicher

Wahl der Kollektorart

Ob in einer Solaranlage, die zur solaren Klimatisierung eingesetzt wird, Röhren- oder Flachkollektoren verwendet werden, hängt besonders von den erforderlichen Vorlauftemperaturen der Kältemaschine ab. Da diese im Vergleich zur Trinkwassererwärmung bzw. Heizungsunterstützung hoch sind (ca. 85 bis 100°C), kommen in Mitteleuropa in der Regel Vakuum-Röhrenkollektoren zum Einsatz. Sie weisen bei höheren Differenzen zwischen Kollektor- und Umgebungstemperatur sowie bei diffuser Strahlung einen besseren Wirkungsgrad als Flachkollektoren auf. In Gegenden mit höherer Sonneneinstrahlung und höheren Umgebungstemperaturen können aber auch Flachkollektoren zur Anwendung kommen.

Die Kollektoranlage auf dem Dach der Viessmann Verkaufsniederlassung in Madrid (Bild 6) besteht aus 42 Flachkollektoren. Um einen höheren solaren Ertrag zu erzielen, sind sämtliche Flachkollektoren auf einem gemeinsamen, drehbar gelagerten Rahmen montiert, der zeitgesteuert dem Lauf der Sonne folgt. Der Antrieb für die Rotation des Rahmens erfolgt durch



Bild 6 Ein 105-m²-Kollektorfeld auf der Viessmann Verkaufsniederlassung Madrid liefert Energie für Kühlung, Heizungsunterstützung und Trinkwassererwärmung. Vor- und Rücklauf des Kollektorfelds werden über eine koaxiale Röhre durch die Drehachse des Rahmens geführt

Elektromotoren. In acht Pufferspeichern mit jeweils 1000 l Inhalt wird die solare Energie für eine Absorptionskältemaschine (104 kW), zur Heizungsunterstützung und Trinkwassererwärmung gespeichert.

Solare Deckungsrate

Die solare Deckungsrate ist ein Maß für den prozentualen Anteil der Sonnenenergie an dem gesamten Energiebedarf an einem System/einer Anlage. Wie auch bei der Trinkwassererwärmung und der Heizungsunterstützung kann in Mitteleuropa eine Solaranlage zur solaren Kühlung bzw. Klimatisierung in der Regel nicht oder nur mit unverhältnismäßigem Aufwand die gesamte benötigte Energie über den ganzen Nutzungszeitraum liefern. Für die thermisch angetriebenen Kältemaschinen stellen dann häufig konventionelle Wärmeerzeuger – als so genanntes Backup-System – die noch erforderliche Restenergie bereit.

Bei der Planung ist für die solare Deckung folgender Zusammenhang zu berücksichtigen: Wird der Kälteprozess wegen der Solaranlage auf niedrige Vorlauftemperaturen ausgelegt, arbeitet die Kältemaschine mit einem etwas schlechteren Wirkungsgrad. Für den Betrieb der Solaranlage ist das unerheblich. Ist jedoch eine Solaranlage mit nur geringer Deckung vorgesehen, so muss entsprechend mehr konventionell erzeugte Wärme (Backup-System) mit relativ geringer Effizienz in Kälte umgesetzt werden. Es sollte also eine möglichst hohe solare Deckung angestrebt werden.

Auslegung des Kollektorfelds

Die Planung des Kollektorfelds muss sehr sorgfältig die Leistung und Temperaturspreizung des Gesamtsystems berücksichtigen. Grundsätzlich sollte die Kollektorfläche so bemessen sein, dass im Sommer kein Wärmeüberschuss produziert wird.

Die durch einen Kollektor erzielbare Nutzenergie hängt von mehreren Faktoren ab. Wesentlichen Einfluss hat die insgesamt zur Verfügung stehende Sonnenenergie. Während in Freiburg eine Globalstrahlung von 1270 kWh/(m² a) verfügbar ist, sind es in Hannover nur 955 kWh/(m² a). Weiterhin spielen Kollektortyp sowie Kollektor-neigung und -ausrichtung eine wesentliche Rolle. Für eine erste, überschlägige Festlegung der Kollektorfläche lässt sich die Leistung eines einzelnen Kollektors wie im folgenden Beispiel abschätzen:

Der Wirkungsgrad eines Vakuum-Röhrenkollektors Typ Viessmann Vitosol 200 beträgt bei einer Temperaturdifferenz von 80 K (100°C Vorlauftemperatur, 20°C Umgebungstemperatur) 62% (Bild 7). Bei einer Einstrahlung durch die Sonne von 800 W/m² folgt daraus eine spezifische Kollektorleistung von rund 500 W/m².

Für die überschlägige Abschätzung kann der spezifische solare Ertrag bei dem ermittelten Kollektor-Wirkungsgrad mit 4,5 bis 5 kWh/(m² d) angesetzt werden. Bei einer täglich aus dem Gebäude abzuführenden Wärme von z. B. 300 kWh und einem COP der Kältemaschine von 0,7 errechnet sich eine thermische Antriebsarbeit von 430 kWh/d. Bei einem spezifischen solaren Ertrag von 5 kWh/(m² d) ergibt sich daraus eine Kollektorfläche von 86 m².

Das gezeigte Beispiel stellt eine erste grobe Abschätzung dar, die lediglich zur Orientierung dient. Die tatsächlich erforderliche Kollektorfläche muss unter Einbeziehung aller Einflussfaktoren (Kollektorausrichtung, -neigung, Kollektortyp, verfügbare Globalstrahlung usw.) möglichst exakt errechnet werden. Hierzu bieten die Hersteller entsprechende Unterlagen, z. B. ausführliche Planungsanleitungen, und z. T. kostenlose Berechnungsprogramme an, die diese Arbeit erheblich vereinfachen. Zusammen mit einer unbedingt durchzuführenden, genauen Kühllastberechnung des Gebäudes lässt sich so die optimale Kollektorfläche ermitteln.

Durchströmung der Kollektoren

Wie oben erläutert, resultiert der Volumenstrom innerhalb der Solaranlage aus der von der Kältemaschine vorgegebenen Temperaturspreizung. Der Volumenstrom im Kollektorkreis bestimmt wesentlich das Betriebsverhalten der Solaranlage. Bei gleicher Einstrahlung, also gleicher Kollektorleistung, bedeutet ein hoher Volumenstrom eine geringe Temperaturspreizung im Kollektorkreis. Ein niedriger Volumenstrom erzeugt dagegen eine große Temperaturspreizung.

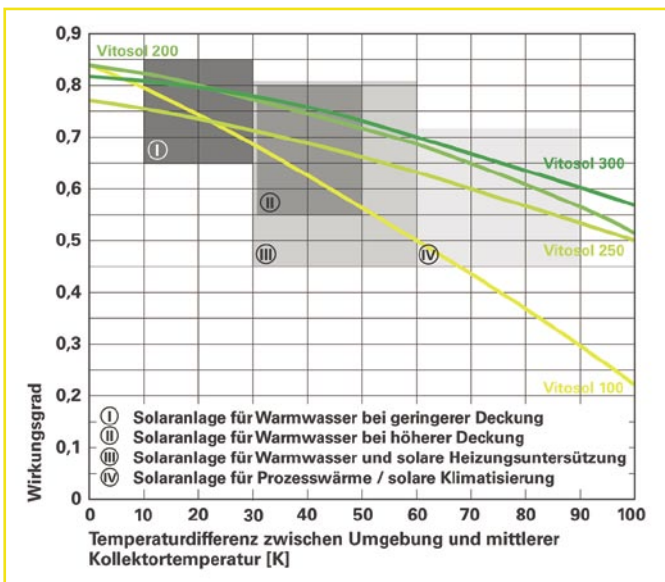


Bild 7 Kollektorwirkungsgrade

Foto: Viessmann

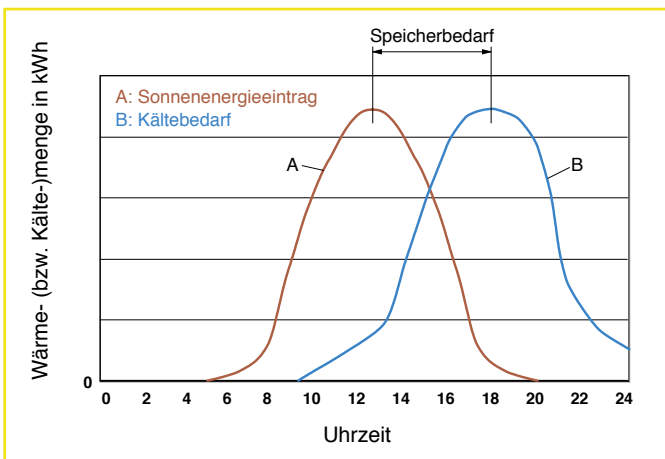


Bild 8 Zeitversatz zwischen Sonnenenergieeintrag und Kältebedarf (Prinzipdarstellung)

Foto: Viessmann

Da große Solaranlagen in der Regel aus mehreren parallel verschalteten Kollektorfeldern aufgebaut werden, muss auch der Aspekt der Betriebssicherheit beachtet werden. Dabei kommen die in den Anlagen zur solaren Klimatisierung üblichen hohen Volumenströme der Betriebssicherheit zugute. Denn je höher der Volumenstrom ist, desto sicherer werden alle Teilfelder angeströmt. Richtwerte für die entsprechenden Volumenströme können den technischen Unterlagen der Hersteller entnommen werden.

Die spezifischen Volumenströme von Flach- bzw. Röhrenkollektoren variieren je nach Konstruktion und Hersteller. Jeder der im Feld installierten Kollektoren muss aber den gleichen spezifischen Volumenstrom aufweisen. Eine gleichmäßige Durchströmung des Kollektorfelds wird auch durch die Verrohrung nach Tichelmann erreicht. Durch die gleiche Länge der Vor- und Rücklaufleitungen für alle Wärmeerzeuger sind für jeden auch der hydraulische Widerstand und damit der hindurch fließende Volumenstrom annähernd identisch.

Dimensionierung des Speichers

Ein Pufferspeicher im Solarkreis ist nicht zwangsläufig erforderlich. Grundsätzlich kann die solar gewonnene Energie auch dazu dienen, überschüssige Kälte zu er-

zeugen, die dann auf der Verbrauchsseite in einem Eisspeicher für die spätere Nutzung zwischengespeichert wird. Soll der Solarkreis einen Pufferspeicher erhalten, so hängt seine Größe u. a. vom Zeitversatz zwischen Sonnenenergieeintrag und dem Kältebedarf ab (Bild 8).

Eine Rolle spielen aber auch die Gebäudemasse und die Kühlstrategie. So kann z.B. vor Erreichen des maximalen Kältebedarfs die Temperatur im Gebäude um wenige Grad stärker abgesenkt werden als erforderlich. Damit wird das Mauerwerk in die Lage versetzt, zu einem späteren Zeitpunkt mehr Wärme aufzunehmen. Die Kälte wird praktisch im Mauerwerk „gespeichert“ und der Pufferspeicher im Solarkreis kann kleiner dimensioniert werden oder ganz entfallen.

Die Wärmeverluste von Speichern sind nicht nur von der Qualität und Dicke der Wärmedämmung, sondern auch von ihrer Größe abhängig. Je größer der Speicher, desto günstiger ist das Verhältnis von Inhalt zu Oberfläche. Wenn es die räumlichen Verhältnisse zulassen, ist ein einzelner Speicherbehälter zu bevorzugen. Werden, z.B. aus Platzgründen, statt einem großen mehrere kleinere Pufferspeicher zu einem System kombiniert, sollten diese seriell geschaltet werden. Durch Ven-

tile können die einzelnen Speicher auch getrennt geladen werden. Da der Durchflusswiderstand in Speichern bei den vergleichsweise geringen Volumenströmen sehr klein ist, führt eine unregelmäßige parallele Verschaltung der Speicher selten zu befriedigenden Betriebsergebnissen. Auch beim Anschluss nach Tichelmann ist der Be- und Entladevorgang kaum beherrschbar, wie Messungen an entsprechend ausgeführten Anlagen belegen.

Ausblick und Fazit

Elektrisch betriebene Kältemaschinen haben einen hohen Strombedarf, der überwiegend zu Spitzenlastzeiten anfällt, große Anschlusswerte erfordert und hohe Betriebskosten verursacht. Thermisch angetriebene Ab- und Adsorptionskältemaschinen sind – neben baulichen Maßnahmen – eine Möglichkeit, den Stromverbrauch für die Kälteerzeugung zu senken. Die zur Verfügung stehenden Kältemaschinen dieser Bauart sind seit vielen Jahren in der Kälte- und Klimatechnik bewährt, werden bisher aber hauptsächlich mit Wärme aus der Verbrennung von Gas oder Öl, selten mit Fernwärme, angetrieben.

Thermisch angetriebene Kältemaschinen in Kombination mit einer effizienten Solaranlage stellen eine interessante Option für die Gebäudeklimatisierung dar. Die Nutzung der Solarenergie als Energiequelle für Ab- bzw. Adsorptionskältemaschinen spart Primärenergie sowie Betriebskosten ein und reduziert beim derzeitigen Strommix die CO₂-Emissionen.

Bisher sind wegen der speziellen Anforderungen noch keine standardisierten Konzepte für die solare Klimatisierung verfügbar, so dass jede realisierte Anlage noch weitgehend als individueller Einzelfall zu betrachten ist. Nachdem europaweit jedoch über 50 Anlagen installiert und zum Teil seit mehreren Jahren erfolgreich in Betrieb sind, hat die solare Klimatisierung die Pilotphase verlassen und steht als zuverlässig planbare gebäudetechnische Anwendung bereit. ←

Dipl.-Ing. (FH)
Wolfgang Rogatty
ist bei Viessmann als
Technischer Redakteur
im Bereich Presse-
und Öffentlichkeits-
arbeit tätig und dort
für die Fachpresse-
arbeit zuständig.
35107 Allendorf (Eder),
Telefon (0 64 52) 7 00, www.viessmann.de

