



Heizen und Kühlen mit dem „SolarEis-Speicher“

Langzeit-Energiespeicher mit Latentwärmenutzung versorgt Gas-Absorptionswärmepumpe im Winter mit Wärme und kühlt im Sommer mit Eis

Hotel Riva in Konstanz, Einsatzort des neuen „SolarEis-Speichers“ zur Langzeit-Energiespeicherung mit Latentwärmenutzung.

Alexander von Rohr*

Hotels des gehobenen Standards gehören aufgrund des hohen Klimatisierungs- und Warmwasserbedarfs zu den energieintensiven Gebäuden. Über den regulären Warmwasser- und Heizwärmebedarf hinaus sind klimatisierte Räume und der Wellnessbereich aus besseren Hotels nicht mehr wegzudenken. Im Neubau des Hotel Riva in Konstanz am Bodensee wurde ein vollkommen neuer Ansatz umgesetzt, den Energiebedarf drastisch zu reduzieren, ohne auf die genannten Annehmlichkeiten verzichten zu müssen. Mittels eines Langzeit-Energiespeichers mit Latentwärmenutzung auf Wasserbasis, dem „SolarEis-Speicher“ der Isocal HeizKühlssysteme GmbH, wird eine Gas-Absorptionswärmepumpe im Winter mit Wärme versorgt und dabei ein Eisvorrat für die Gebäudekühlung im Sommer gebildet. Aufgrund des innovativen Charakters stellte die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) Fördermittel zum Aufbau einer komplexen Messtechnik zur Verfügung. Wissenschaftlich begleitet, wird so der komplette Energiefluss des Gebäudes aufgezeichnet und visualisiert. Der Beitrag zeigt zum einen die Funktionsweise des neuen Langzeit-Energiespeichers auf und erläutert zum anderen das anlagentechnische Gesamtkonzept.

Mit der Wärmepumpentechnologie existiert eine effiziente energetische Alternative zur klassischen Heizungs- und Kältetechnik, besonders dann, wenn simultan Wärme und Kälte nutzbar gemacht

werden können. Da aber die Erschließung der Wärmequelle (z. B. über Erdsonden, Erdkollektoren) die Kosten der gesamten Wärmepumpenanlage massiv erhöht, werden viele potenzielle Wärme-

pumpenprojekte bereits in der Planungsphase aufgrund zu hoher Gesamtkosten verworfen.

Das am Bodenseeufer im Hotel Riva mit seinen 52 Zimmern und Suiten umgesetzte Konzept nimmt sich dieser Problematik an und erfüllt die Anforderungen an Wirtschaftlichkeit und Ökologie. Es besteht im Wesentlichen aus:

- einer vierstufigen, gasbetriebenen Sole/Wasser-Absorptionswärmepumpenanlage,
- einem 170 m³ großen, im Erdreich versenkten Wasserspeicher („SolarEis-Speicher“),
- einem 60 m² großen Luftabsorber in Flachdachausführung,
- Abgaswärmetauscher zur Einbindung der Abgaswärme in den Sole-, oder wechselseitig in den Warmwasserkreislauf,
- Wärmetauscher zur Einbindung der Abwärme aus

*) Alexander von Rohr, Isocal HeizKühlssysteme GmbH, Friedrichshafen



■ Bild 1: Die vierstufige Gas-Absorptionswärmepumpenanlage steht mit einem 170 m³ großen, im Erdreich versenkten Latentwärmespeicher in Verbindung und bildet die Basis der Wärme- und Kälteerzeugung.

den vorhandenen Kleinkältemaschinen.

Die Basis des Gesamtkonzeptes bildet die vierstufige Gas-Absorptionswärmepumpenanlage (Bild 1), die mit 160 kW Heizleistung und 70 kW Kälteleistung die Grundlast des Gebäudes abdeckt. Neben einem Gasbrennwertkessel zur Spitzenlastabdeckung der Wärmeversorgung stehen für Küche, Lebensmittelager und Tiefkühlung diverse kleinere Kompressionskälteaggregate zur Verfügung, deren Abwärme wiederum durch die Wärmepumpen genutzt wird.

Die Wärmepumpen, die im Betrieb gleichzeitig Wärme und Kälte zur Verfügung stellen können, wurden so in das Gebäude integriert, dass sich möglichst lange ein energetisches Gleichgewicht der Hauptenergieströme „Heizen“ und „Kühlen“ ergibt. Werden z. B. die Hotelzimmer gekühlt, wird die daraus resultierende Abwärme komplett zur Brauchwasserbereitung und zur Schwimmbadwassererwärmung genutzt.

Wärmepumpentechnik

Das Prinzip elektrischer Kompressionswärmepumpen, Kältemittel über einen mit

elektrischem Strom angetriebenem Kompressor zu verdichten und somit den Druck und das Temperaturniveau zu erhöhen, ersetzt die Absorptionswärmepumpe durch einen Gasbrenner. Bei diesem Prinzip befindet sich das Kältemittel zu Beginn in einem geschlossenen Behälter. Diesem wird durch den Gasbrenner so lange Wärme zugeführt, bis sich Temperatur und Druck des Kältemittels auf entsprechendem Niveau befinden.

Da der mechanische Kompressor entfällt, können auf diese Weise die Verluste der Stromerzeugung vermieden werden. Diese betragen in Deutschland im Mittel ca. 2/3 des Primärenergieaufwandes und belasten die Gesamtenergiebilanz elektrischer Wärmepumpen negativ (Bild 2).

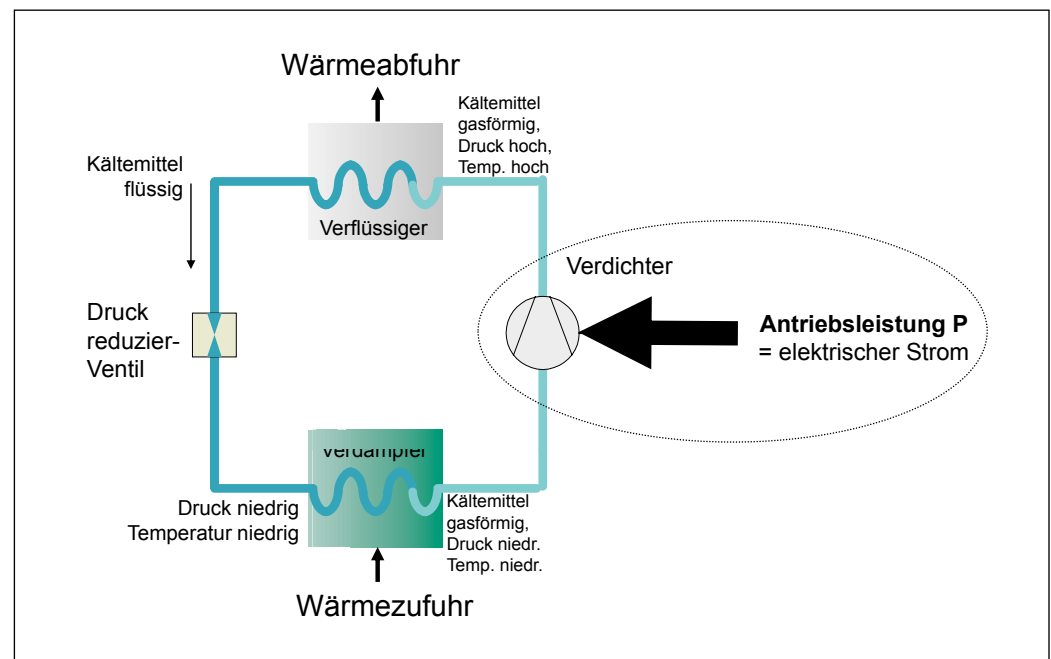
Neben dem primärenergetischen Vorteil der Absorptionswärmepumpe, der sich in Form von geringerem Energiebedarf und reduziertem CO₂-

Ausstoß zeigt, bringt das Prinzip noch weitere Pluspunkte mit sich. Die Vorlauftemperatur kann ohne Einbruch der Arbeitszahl 65°C erreichen, da aufgrund des Gasbrenners insgesamt ein höheres Temperaturniveau herrscht. Wird Geothermie als Wärmequelle der Wärmepumpenanlage gewählt, kann im Vergleich zur Elektrowärmepumpe bei gleicher Heizleistung auf 50 bis 70 % der Sondenlänge verzichtet werden. Dies reduziert die Gesamtinvestitionskosten einer Wärmepumpenanlage im erheblichen Maße.

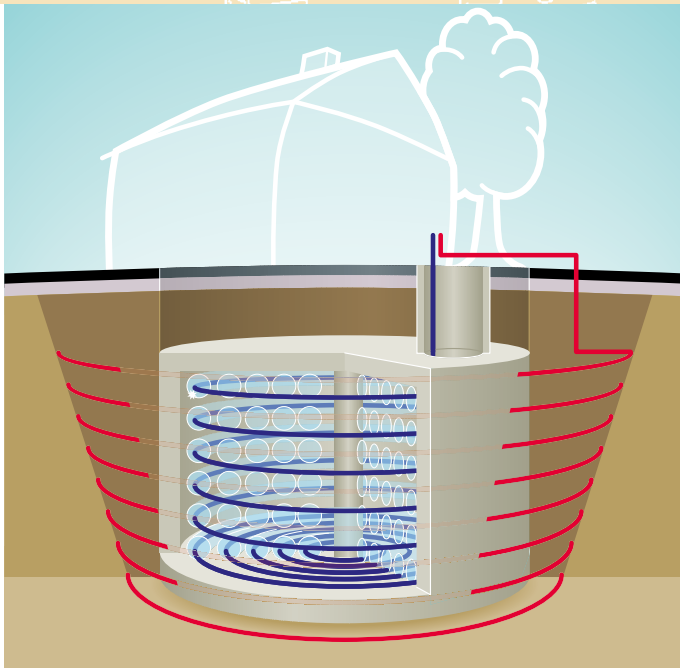
Die hohe primärenergetische Effizienz, die Absorptionswärmepumpen bei gleichzeitiger Nutzung von Wärme und Kälte erzielen können, liegt bei annähernd 245 %, bezogen auf die eingesetzte Primärenergie. Das heißt, mit 1 kWh Gas ist es möglich, etwa 1,70 kWh Wärme und gleichzeitig 0,75 kWh Kälte zu erzeugen.

„SolarEis-Speicher“

Der „SolarEis-Speicher“ bildet die zweite Stufe des Ge-



■ Bild 2: Kälteprozess einer Kompressionswärmepumpe. Im Gegensatz dazu ersetzt die Absorptionswärmepumpe den elektrisch angetriebenen Kompressor durch einen geschlossenen Behälter. Diesem wird mittels Gasbrenner Wärme zugeführt, was zur Temperatur- und Druckerhöhung führt.



■ Bild 3: Der „SolarEis-Speichers“ übernimmt die Aufgabe eines Kältespeichers für den Sommer und soll im Winter ausreichend viel Wärme der Wärmepumpe zur Verfügung stellen. Kann der Speicher aus bautechnischen Gründen nicht entsprechend groß realisiert werden, oder wird nur wenig Kälte im Sommer benötigt, lässt sich das Speichervolumen durch die Kombination mit einem um den Speicher angebrachten Erdkollektor reduzieren. Auf diese Weise erhält man eine Kombination aus geothermischer Anlage und Latentwärmespeicher auf Wasserbasis.

samtkonzeptes (Bild 3). Anstatt einer Erdsondenanlage wurde auf dem Gelände des Hotelneubaus ein neu entwickelter, saisonaler Latentwärmespeicher mit 170 000 l Wasserinhalt integriert (Bilder 4 bis 8). Mit einem ausgeklügelten, patentierten Wärmetauschersystem ausgestattet, erfüllt der unterirdische Wasserbehälter mehrere Aufgaben. Er ist einerseits die Wärmequelle der Wärmepumpe und ersetzt somit die Erdbohrungen. Andererseits führt die im Winter dem Wasserbehälter entzogene Wärme zum gezielten Durchfrieren des gesamten Wasservolumens, ohne dabei Sprengwirkung zu verursachen. Das während des Heizbetriebes entstehende Eisvolumen – im hier beschriebenen Fall 170 t – kann im folgenden Sommer zur aktiven Kühlung genutzt werden. Da beim Gefrieren des Wassers der Aggregatswechsel von flüssig zu fest vollzogen wird, kann aufgrund des Latentwärmeanteils eine sehr

hohe Energiedichte genutzt werden. Dies wirkt sich während der Heizperiode positiv aus, da die Wärmepumpe über lange Zeit Wärme entziehen kann, ohne dass die Temperatur der Wärmequelle unter null Grad absinkt.

Das Temperaturniveau des Speichers bleibt auch im Sommer so lange bei $\pm 0^\circ\text{C}$, bis das Eis den Aggregatswechsel zu Wasser komplett vollzogen hat. Das Gebäude kann somit während der Sommermonate auf eine konstante Kältequelle von 0°C zugreifen, ohne dafür zusätzlich Energie aufwenden zu müssen. Zum Kühlen wird dem „SolarEis-Speicher“ 0°C kaltes Wasser entnommen und dem Gebäude auf entsprechendem Temperaturniveau zugeführt. Die dem Gebäude in den Sommermonaten entzogene Wärme

■ Bilder 4 bis 8: Auszug aus der Bauphase des Eisspeichers (von oben nach unten): Verlegung der unteren, äußeren Wärmetauscher; Betonierung des Speichers; Verlegung der äußeren Wärmetauscher. Das untere Bild zeigt einen Blick ins Innere des Speichers.



Nachgefragt

IKZ-FACHPLANER: Was war der entscheidende Grund zur Planung und Entwicklung des „SolarEis-Speichers“?

von Rohr: Die hohe primär-energetische Effizienz, die Absorptionswärmepumpen bei gleichzeitiger Nutzung von Wärme und Kälte erzielen können, liegt bei über 200%, bezogen auf die eingesetzte Primärenergie. Da sich das Gleichgewicht aus benötigter Wärme und Kälte jedoch nur an wenigen Tagen des Jahres exakt einstellt, wurde das Konzept um einen saisonalen Latentwärmespeicher, den „SolarEis-Speicher“, ergänzt. Im Winter wird in unseren Breitengraden naturgemäß mehr geheizt als gekühlt. Wärmepumpen liefern während der Heizperiode zwar ausreichend Wärme, können aber, da nicht, oder nur wenig gekühlt werden muss, die gleichzeitig erzeugte „Kälte“ nicht nutzbar machen. Bei klassischen Wärmepumpenanlagen (Erdsonden/Geothermie) wird das Problem in der Art gelöst, dass die kalte Seite der Wärmepumpe in das Erdreich eingeleitet wird. Der natürliche Wär-



■ Die IKZ-FACHPLANER-Redaktion sprach mit Alexander von Rohr, Geschäftsführer der Isocal HeizKühlsysteme GmbH, über den Einsatz des neuen „SolarEis-Speichers“ zur Langzeit-Energiespeicherung mit Latentwärmenutzung.

mestrom des Erdreichs führt aber dazu, dass nur ein geringer Teil der im Winter eingebrachten „Kälte“ im Sommer noch zum passiven Kühlen zur Verfügung steht. Der „SolarEis-Speicher“ löst diese Problematik, da er die im Winter erzeugte Kälteenergie verlustarm über Monate speichert und im Sommer nutzbar macht. Auf eine Erdsondenanlage kann in dieser Kombination verzichtet werden.

IKZ-FACHPLANER: Was passiert, wenn in den Sommermonaten nicht so viel „Kälte“ benötigt wird, wie der Speicher bietet? Oder anders gefragt: Wie weit baut sich der nicht benötigte Eisvorrat automatisch ab und wie erfolgt dann die thermische Regeneration?

von Rohr: In der Regel tritt diese Situation nicht ein, dass ein Eisvorrat über die Sommermonate hinaus übrig bleibt, da der Speicher entsprechend den Anforderungen ausgelegt wird. Die Auslegung beinhaltet auch verschiedene Isolierarten, sodass sich der Speicher, wenn es gewollt ist, durch den Wärmestrom aus dem Erdreich regenerieren kann. Sollte sich die Situation einstellen, für den Sommer mehr Kälte gespeichert zu haben, als zur Kühlung notwendig war, ist es ein Leichtes die Kälte zu „vernichten“. Die einfachste Variante ist die Regeneration mittels Regenwasser. Hierzu reicht es aus, in den letzten Wochen des Sommers/Herbstes vom Gebäude abfließendes Regenwasser über den Speicher, der in diesem Fall über einen Zu- und Ab-

lauf verfügt, zu leiten. Alternativ kann auch eine vorhandene Solaranlage integriert werden. Diese würde natürlich nur dann einspeisen, wenn z. B. der Brauchwasserspeicher geladen ist und keine Solarwärme mehr abgenommen werden kann. Somit erfüllt der „SolarEis-Speicher“ noch eine weitere Aufgabe. Er wird zum saisonalen Sonnenenergiespeicher, der die im Sommer eingelagerte Solarwärme der Wärmepumpenanlage im Winter zur Verfügung stellt. Eine vorhandene Solaranlage wird deutlich effizienter, da sie wesentlich mehr Wärme nutzbar machen kann.

IKZ-FACHPLANER: Welcher Zeitraum kann für die Amortisation angesetzt werden?

von Rohr: Je mehr Kälte im Sommer benötigt wird, desto kürzer die Amortisationszeit. Da die Kosten nicht höher sind als bei vergleichbaren geothermischen Elektrowärmepumpenanlagen, zusätzlich aber die nahezu energie- und kostenneutrale Kältenutzung im Sommer hinzukommt, liegt die Amortisationszeit bei wenigen Jahren. ■

me führt dem Eisspeicher die Energiemenge zu, die notwendig ist, diesen komplett aufzutauen und thermisch zu regenerieren. Der Speicher kann somit im folgenden Winter wieder genug Wärme zum Heizen zur Verfügung stellen (Bild 9).

In der Heizperiode werden rund 2000 Stunden geheizt und somit auch 2000 Stunden Kälte erzeugt, die zum größten Teil in den „SolarEis-Speicher“ eingelagert wird. Die aktive Kühlperiode im Sommer beträgt etwa 600 bis 1000 Stunden. Zusammengefasst

heißt das, dass mehr Eis/Kälte gebildet werden kann, als im Sommer zum Kühlen benötigt wird – ein entsprechend großer Wasserspeicher vor- ausgesetzt. Im Gegensatz zur Geothermie ist die erzeugte Kälte bei dem hier beschriebenen Verfahren in einem isolierten Behälter thermisch geschützt, sodass der größte Teil bis zum Sommer überdauert und zum Kühlen zur Verfügung steht.

Wissenschaftlich dokumentiert

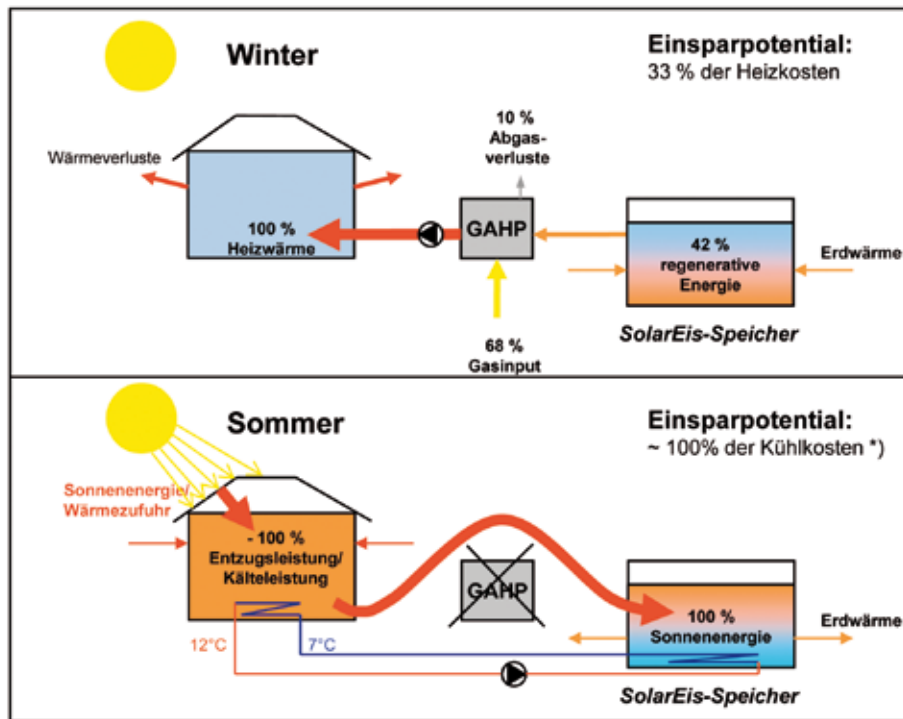
Das hier beschriebene System aus dem „SolarEis-Speicher“ in Kombination mit einer Absorptionswärmepumpe wurde bereits im Herbst 2006

mit dem Innovationspreis der deutschen Gaswirtschaft ausgezeichnet. Da in diesem Hotelneubau das weltweit erste kommerziell genutzte Projekt realisiert wurde, konnte mit den durch die DBU bereitgestellten Fördermitteln eine äußerst komplexe Messtechnik integriert werden. Diese erfasst sämtliche Energieströme von und zu der Wärmepumpenanlage. Angefangen bei dem Verbrauch von Gas und Wasser, über die Energieströme vom Gebäude zum Speicher und vom Speicher zum Gebäude, bis hin zum Strombedarf soll in einem Zeitraum von zwei Jahren die Effizienz der Anlage wissenschaftlich

von dem Innovationszentrum Hochschulgruppe Ruhr e.V. dokumentiert werden.

Weitere Komponenten

Da aus Platzgründen der „SolarEis-Speicher“ in ausreichender Größe nicht auf dem Gelände integriert werden konnte, wurde das Konzept um eine weitere Komponente – einen Flachdachabsorber – ergänzt (Bild 10). Dieser Absorbentyp, vergleichbar einem Schwimmbadabsorber, kann die Wärmepumpe in der gesamten Übergangszeit mit Umweltwärme auf



Im Winter wird ca. 40% der benötigten Heizwärme dem „SolarEis-Speicher“ entnommen. Dies führt dazu, dass der Speicher abkühlt – Wasser wird zu Eis. Das Eis ist zu diesem Zeitpunkt ein „thermisches Abfallprodukt“. Kann es aber im Sommer zum Kühlen nutzbar gemacht werden, geht es in die Energiebilanz ein. Die Heizeffizienz, bezogen auf den Gaseinsatz liegt bei ~ 150%.

Im Sommer kann das Eis nahezu ohne energetischen Zusatzaufwand zum Kühlen genutzt werden. Der Speicher nimmt dabei die dem Gebäude entzogene Solarwärme auf, welche im Folgewinter zum Heizen genutzt wird. Da das Eis im vorausgegangenen Winter durch die Gaswärmepumpe erzeugt wurde, verbessert dies die Gesamtenergiebilanz. Die Kühleffizienz liegt bei ~ 60% (bezogen auf den Gaseinsatz des Winters).

*) Die Kälteleistung kann, so lange das Temperaturniveau des Speichers niedrig ist, aus dem Eispeicher gedeckt werden. Hierfür ist, bis auf die elektrische Energie der Umwälzpumpe (Verteilung), keine weitere Energie notwendig.

■ Bild 9: Funktionsprinzip des „SolarEis-Speichers“ mit Wärmepumpe. Die Gesamteffizienz des eingesetzten Brennstoffes liegt bei über 200%.

relativ hohem Temperaturniveau versorgen. Während ein Schwimmbadabsorber, wie ein klassischer Sonnenkollektor, auf direkte Sonneneinstrahlung angewiesen ist, kann der Flachdachabsorber auch ohne Sonneneinstrahlung Wärme aus der Umgebung aufnehmen, da er mit einem Glycol/Wasser-Gemisch betrieben wird. Gerade in der Übergangszeit mit viel Regen und Wind eignet sich dieses System hervorragend, um die Entzugsleistung der Wärmepumpen komplett abzudecken. Der Eisspeicher steht somit fast ausschließlich für die Energieversorgung an den kalten Tagen ($< 0^{\circ}\text{C}$), oder bei Schneefall zur Verfügung. Durch die Kombination mit dem Dachabsorbersystem konnte die fehlende Größe des Eisspeichers kompensiert werden.

Um das Konzept abzurunden, wurden noch weitere vorhandene Wärmequellen in den Wärmepumpenkreisläufen integriert. Dazu zählen Abgaswärmetauscher, die in den Abgasleitungen

der Wärmepumpen installiert und auf den Entzugsseiten der Wärmepumpen eingebunden wurden. Als letzte Komponente im Zusammenspiel der Wärmequellen wurde die Abwärme von diversen kleinen Kältemaschinen genutzt. Diese sind im Bereich von Küche und Lebensmittelager notwendig und machen in einer ersten Stufe die Abwärme zur Brauchwasservorwärmung nutzbar. Erst in einer zweiten Stufe entzieht die vierstufige Gas-Absorptionswärmepumpenanlage die noch verbliebene Restwärme, sodass die Effizienz der Wär-

mepumpe und gleichzeitig die der Kleinkälteaggregate erhöht wird.

Zusammenfassung

Der Betrieb der Gas-Absorptionswärmepumpe in Kombination mit der innovativen Wärmequelle „SolarEis-Speicher“ ermöglicht die Versorgung von Wärme und Kälte bei niedrigen Betriebskosten und vergleichsweise geringen Investitionskosten. Dazu verfügt die Anlage über eine hohe Jahresarbeitszahl. Kann die Entzugsleistung nicht komplett durch den Eis-

speicher gedeckt werden, bieten Wärmequellen wie Flachdachabsorber, Abgaswärmetauscher im Abgasweg der Wärmepumpe und Abwärme aus elektrischen Kleinkältemaschinen die Möglichkeit, die fehlende Wärmemenge zu liefern. Für den Fall, dass am Ende des Sommers der „SolarEis-Speicher“ keine Kälte mehr liefert, kann die Absorptionswärmepumpe im Kühlmodus aktiv kühlen. Die Abwärme wird dabei nicht vernichtet, sondern im Speicher eingelagert und steht in der Übergangszeit als Wärmequelle für die Wärmepumpe zur Verfügung. Nicht zuletzt wird durch die Reduzierung des CO_2 -Ausstoßes einmal mehr gezeigt, dass mit intelligenten Lösungen Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund stehen können, ohne auf Luxus verzichten zu müssen. ■



■ Bild 10: Mehrlagiger Flachdachabsorber.

Bilder: Isocal HeizKühlsysteme GmbH, Friedrichshafen

@ Internetinformationen:
www.isocal.de