



Zum Titelbild:

YORK INTERNATIONAL ist weltweit der größte unabhängige Hersteller von Klimaanlage und industriellen Kältesystemen. Den Forderungen unserer Zeit begegnet YORK INTERNATIONAL mit neuen Konzepten, um die Qualität in den Bereichen Industriekälte, Klimakälte, Energietechnik, Umweltsimulationen, Lebensmittelkälte, Gewerbekälte, Schiffskälte und Service zu verbessern. Unser Markenzeichen, die Sonnenflocke, symbolisiert die Umsetzung von warm und kalt und kommuniziert damit die Aufgabe der Firmengruppe YORK INTERNATIONAL weltweit.

Die Firma YORK INTERNATIONAL Corporation ging aus der 1874 in York, Pennsylvania, gegründeten YORK Manufacturing Company hervor. Daraus entstand die YORK Machinery Company, die 1956 eine Tochtergesellschaft der Borg-Warner Corporation wurde.

1970 gründeten die Brown, Boverie & Cie AG Konzerngruppe Deutschland und die Borg-Warner Corp. in Chicago mit je 50%iger Beteiligung die Brown Boveri YORK Kälte- und Klimatechnik GmbH.

1986 wurde die YORK INTERNATIONAL Corp. - durch Ausgliederung der YORK Division von Borg-Warner - als selbständige Aktiengesellschaft gegründet und übernahm damit auch die bisher von Borg-Warner gehaltene 50%ige Beteiligung. 1991 erwarb YORK INTERNATIONAL Corp. den 50%igen Anteil der Asea Brown Boveri. Damit wurde die Gesellschaft vollintegriertes Mitglied im Konzernverbund der YORK INTERNATIONAL Corp. USA. Wollen Sie mehr über unsere Leistungen wissen, dann rufen Sie uns an oder schreiben Sie uns:

YORK INTERNATIONAL GmbH, Gottlieb-Daimler-Straße 6, 68165 Mannheim, Tel. (0621) 468-0, Fax (06 21) 468-654

Editorial		506
Aktuelles Thema	H.-J. Bullinger, R. Schneider Virtuelle Realität - Moderne Gebäudeplanung mit superschnellen Computern	515
Fachbeiträge	W. Schwarz Auslegung von Düsenstrahlbündeln	518
	B. Gerns, F. N. Fett Photovoltaische und thermische solare Kühlung im Vergleich	522
	U. Finke, K. Fitzner Die hygienebewußte Planung, Ausführung und Instandhaltung von Raumluftechnischen Anlagen in den Normen	526
	G. Matthes Leben in der Kälte - Gefrierkonservierung von Zellen, Geweben und Organen in der Medizin	531
Forum	Erfahrungen mit Plattenwärmeaustauschern beim Einsatz als Verdampfer - Teil 1	536
Rubriken	Nachrichten: Marktinformationen, Marktnotizen, Personalien	507
	Produkte, Produktnotizen	511
	Fachorganisationen	539
	Aus der Branche: Ki-Pressespiegel Fach- und Firmenliteratur Veranstaltungskalender Software Normen und Richtlinien / Patente	540 541 542 542 543
	Reportagen	544
	Veranstaltungen	547
Impressum		548

Solarunterstützte Kühlung



Obwohl die Nutzung der Solarenergie für die Elektroenergieerzeugung und Wärmeversorgung gegenwärtig im allgemeinen nicht wirtschaftlich ist, erstaunt es, daß nicht nur international, sondern auch unter den Bedingungen Mitteleuropas beträchtliche Anwendungs-Zuwachsraten ersichtlich sind. Bei einem großen Teil der Anlagen stimmen Energieangebot und Energiebedarf zeitlich nicht überein. Deshalb arbeitet man bei Wärmeversorgungssystemen mit verhältnismäßig großen Speichern.

Vergleichsweise sind die Anstrengungen zur solarbetriebenen Kühlung gering, obwohl gerade im Klimabereich ein Gleichklang von solarer Einstrahlung und Kältebedarf besteht. Interessant ist deshalb der theoretische, praktisch gemessene und bewertete Vergleich zwischen photovoltaischer und thermisch-solarer Kühlung von B. Gems und F. N. Fett in diesem Heft der Ki Luft- und Kältetechnik. Natürlich sind die Chancen bei höher temperierter Kühlung größer als im Tiefkühlbereich. Für solarbetriebene Kühlzellen gibt es jedoch auch im Temperaturbereich von 4 bis 10 °C interessante Anwendungen. Der Klimabereich ist natürlich besonders bevorzugt. Die Einsatzchancen verbessern sich jedoch noch weiter, wenn eine Trennung zwischen Luftentfeuchtung und Luftkühlung vorgenommen wird. Bei einer sorptiven Entfeuchtung der Luft sind für die Luftkühlanlage oder für eine Deckenkühlung nur noch Wassertemperaturen von ca. 15°C erforderlich. Dadurch verringert sich nicht nur die Kälteleistung, sondern es verbessern sich auch die Einsatzchancen der solaren Kühlung.

Durch eine sorptive Lufttrocknung und anschließende Verdunstungskühlung ergeben sich völlig neue Bedingungen für die thermische Nutzung der Solarstrahlung zur Kälteerzeugung. Der Antrieb einer derartigen solaren Kühlanlage erfordert für den Sorptionsregenerator Regenerationstemperaturen weit unterhalb der bei Wasser-Lithiumbromid-Absorptionsanlagen üblichen Austreibertemperaturen. Anlagen mit Verdunstungskühlung nach vorhergehender regenerativer Lufttrocknung (DEC-Anlagen) kommen mit Austreibertemperaturen von 50 bis 65 °C aus, die natürlich recht gut solarthermisch bereitgestellt werden können.

Die solare Kühlung muß man nicht unbedingt alternativ zur konventionellen Kühlung betreiben. Bietet nicht auch die solar unterstützte Kühlung Anwendungschancen?

Auf jeden Fall sollte das Anwendungsfeld der Solarstrahlung nicht allein der Wärmenutzung überlassen werden.

Prof. Dr.-Ing. GÜNTER HEINRICH

Bernd Gems
Franz N. Fett

Photovoltaische und thermische solare Kühlung im Vergleich

Der Vergleich der Anlagen und Prinzipien zeigt die - bei Verwendung eines ozonschichtneutralen Kältemittels - deutliche und grundsätzliche Überlegenheit des photovoltaischen Kühlsystems gegenüber dem solarthermischen Prinzip. Das photovoltaische Kühlsystem ist einfacher im Aufbau, mit weniger beweglichen Komponenten versehen und einfacher in der Handhabung. Es benötigt im Gegensatz zum thermischen Verfahren zum Betrieb nur eine Energieform, den elektrischen Strom. Die solarthermische Anlage erfordert neben dem eigentlichen Antrieb über einen Wärmestrom einen nicht vernachlässigbaren elektrischen Strombedarf zum Betrieb von Pumpen und Lüftern. Dies führt zu einem insgesamt komplexeren System mit erhöhtem Bau- und Wartungsaufwand. Es wird häufig eine preiswerte solare Kühlanlage nachgefragt. Derzeit ist eine solche Lösung nicht sichtbar. Man kann jedoch davon ausgehen, daß eine speicherlose und im natürlichen Gleichgewicht, das heißt ohne zusätzliche technische Regelorgane geregelte Kompressionskälteanlage der derzeit einfachsten und wirtschaftlichsten Lösung nahekommt. Diesem Ziel dient auch eine sorgfältige bautechnische Abstimmung mit dem zu klimatisierenden Gebäude und eine Überprüfung des Komfortniveaus.

1. Zielstellung

Die Anwendung der Solarenergie wird wie bei kaum einem anderen Energieträger durch die natürlich vorgegebenen Bedingungen bestimmt. Dies sind bekanntermaßen:

- Die niedrige Energiestromdichte, die zu einem erheblichen apparativen Aufwand führt.
- Die geringe zeitliche Verfügbarkeit. Sommer-Winter und Tag-Nacht, aber auch unterschiedliche Bewölkung schränken die direkte zeitliche Nutzung stark ein.
- Die örtliche Verschiedenheit. Die solare Einstrahlung ist in ihrer Intensität nach Regionen und Standorten verschieden und steht in der Regel in keinem Zusammenhang mit dem lokal erforderlichen Energiebedarf der Bewohner.

Die besondere Problematik der zeitlichen Unstetigkeit der Solarenergie kann durch die Anwendung für geeignete Nutzungsarten teilweise kompensiert werden. Im Bereich des kleineren und mittleren Energiebedarfs sind alle Nutzungsarten bevorzugt, deren Bedarf weitgehend synchron zum Energieangebot anfällt. Dies entschärft das bei Solaranwendungen oftmals kritische Speicherproblem. Zu diesen bevorzugten Nutzungsarten zählen die solare Bewässerung in ariden und halbariden Zonen ebenso wie die solare Kühlung.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Photovoltaische und thermische solare Kühlung im Vergleich“ wurden zwei unterschiedliche Wege der solaren Kühlung untersucht [1]. Zum einen wird mit Hilfe von HT-Vakuumröhrenkollektoren Wasser erhitzt und die Wärme zum Betrieb einer Absorptionskälteanlage genutzt. Zum anderen wird von einem Solargeneratorfeld elektrische Energie bereitgestellt und zum Betrieb einer am Institut für den Einsatz in der Solartechnik entwickelten Kompressionskälteanlage genutzt. Beide Anlagen sind mit der zur Bilanzierung der modifizierten Einzelkomponenten und des Gesamtsystems erforderlichen Meßtechnik ausgestattet. Beide Systeme können gleichzeitig, das heißt unter gleichem Wetter parallel betrieben und vermessen werden.

Comparison of photovoltaic and solar thermal cooling

The comparison of principals and systems shows by using an ozone friendly refrigerant a fundamental and significant superiority of the photovoltaic refrigeration system compared with the solar thermal principle. The photovoltaic refrigeration system is simpler in design, with less moving parts and simpler handling. It needs only one type of energy, electricity. The solar thermal system needs besides the main driving force, the heat flux, also a remarkable amount of electricity for pumps and fans. This leads to a more complex system with higher expenses for installation and maintenance. Often people ask for a solar refrigeration system for a reasonable price, but this cannot be seen nowadays. However, a compression refrigeration system without additional technical control devices and without storage, that means in natural equilibrium, will be close to the most simplest and most economical solution. To reach this goal, a precise adjustment of air conditioned building and an examination of the comfort level is necessary.

Keywords: photovoltaic cooling, solar thermal cooling, absorption refrigeration system, compression refrigeration system, rating criteria

Mit Hilfe von im Rahmen des Projekts erstellten mathematischen Modellen kann das Verhalten beider Anlagen ferner theoretisch beschrieben werden. Die Verifikation der Modelle erfolgt anhand des Vergleichs von gemessenen mit berechneten Werten. Die entwickelten Modelle werden mit einem Gebäudemodell verknüpft und das Zusammenspiel simuliert. Dies ermöglicht einen direkten Vergleich der Wirksamkeit beider Systeme. Die Anwendung ausgereifter mathematischer Modelle erlaubt die Übertragung des Wissens und der Technologie auf andere Anwendungen, Gerätegrößen, Orte und Klimazonen.

2. Vorgehensweise

Bild 1 zeigt das Prinzip der photovoltaisch betriebenen Kompressionskühlung. Mit Solargeneratoren (1.1) wird elektrische Energie bereitgestellt und

Dr.-Ing. B. Gems, Prof. Dr.-Ing. F. N. Fett, Institut für Energietechnik der Universität GH Siegen
Die Autoren danken dem Ministerium für Wirtschaft und Forschung des Landes Nordrhein Westfalen für die Förderung des Projektes 252 004 91 im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft Solar.

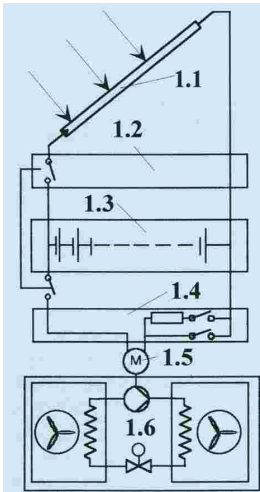


Bild 1
Photovoltaisches
Kühl-
system

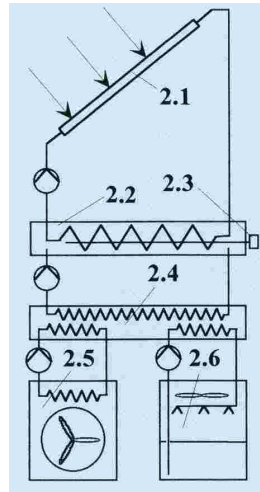


Bild 2
Solar-
thermisches
Kühl-
system



Bild 3 Solargeneratorfeld (oben) und HT-Vakuumröhrenkollektorfeld (Mitte) als Antrieb der solaren Kühlanlagen

über den Laderegler (1.2) der Batterie-station (1.3) zugeführt. Diese versorgt über die Anlaßsteuerung (1.4) den Gleichstrommotor (1.5) mit der zum Betrieb erforderlichen Energie. Der Gleichstrommotor ist das Antriebs-aggregat der Kompressionskältemaschine (KKM) (1.6). Die Kompressions-kältemaschine verfügt über eine Nennkälteleistung von $4,4 \text{ kW}_{\text{therm}}$ und erhält ihre elektrische Energie über eine Batteriestation mit einer Kapazität von 60 Ah, gespeist von einem Solargenerator mit einer Peakleistung von $3,5 \text{ kWp}$.

Zum Vergleich gegenübergestellt, nutzt die solarthermische Anlage nach Bild 2 die von Vakuumröhrenkollektoren (2.1) bereitgestellte thermische Energie in Form eines erhitzten Wasser-Frostschutz-Gemisches - nach Pufferung über

einen Wärmeaustauscher in einem Wärmespeicher (2.2) - zum Betrieb einer kontinuierlich arbeitenden Absorp-tionskälteanlage (AKM) (2.4). Zur Er-zeugung von Zusatzwärme bei Strah-lungsmangel und Kältebedarf wird bei dieser Versuchsanlage ein Heizstab (2.3) verwendet. Mit Hilfe des Luftkühlers (2.5) wird der Luft des zu kühlenden Raums Wärme entzogen. Im Prozeß entstehende Abwärme wird über den Kühlturm (2.6) an die Umgebung abgegeben. Die verwendete Absorptionskälteanlage hat eine Nennkälteleistung von $7 \text{ kW}_{\text{therm}}$, der Wärmespeicher 600 l Inhalt und die Vakuumröhrenkollektoren eine thermische Peakleistung von 22 kWp . Bild 3 zeigt die auf dem Labordach instal-lierten Solarkomponenten für die solare Kühlung. In Bildmitte sind die HT-Vakuumröhrenkollektoren des

Typs KL VR 140, oben das Solargenera-torfeld vom Typ AEG PO 1040 zu sehen. Die Photovoltaik- und die Batteriean-lagen sind naturgemäß Gleichstromgerä-te. Die direkte Nutzung des Gleichstroms auf der Verbraucherseite ist daher in vielen, insbesondere dezentralen Anwendungen als natürliche Lösung an-zusehen. Gleichzeitig werden die Kosten, die Energieverluste und die möglichen Komplikationen von Invertern vermieden. Zur Verwendung in der pho-tovoltaisch betriebenen Raumkühlung wurde eine handelsübliche Kompres-sionsklimaanlage durch Einsatz eines selbstbelüfteten Gleichstrommotors in Verbindung mit einem offenen Verdich-ter als Ersatz für den werkseitig einge-bauten, mit 3-Phasen-Wechselstrom be-triebenen Verdichter von Netz- auf Solarbetrieb umgerüstet. Im Bild 4 sind von links nach rechts der Verflüssiger-lüfter mit dahinterliegendem Verflüs-siger, die Steuerungseinheit (bei ab-genommener Wartungsklappe), der Gleichstrommotor sowie der offene Verdichter erkennbar.

Bild 5 zeigt die Anlaufsteuerung des Mo-tors (links), das Kältemitteldurchfluß-meßgerät (rechts daneben), den Ver-dampfer mit Walzenlüfter (rechts) sowie die Druckmeßeinrichtungen (unten).

Bild 6 zeigt die verwendete Absorp-tionskälteanlage des Typs WFC 600 S. Das verwendete Stoffpaar Wasser/Li-thiumbromid erlaubt einen Betrieb des Geräts bei Eintrittstemperaturen des Heizwassers in den Austreiber von 75°C bis 100°C . Das Kühlwasser muß im Be-reich von 24°C bis 45°C liegen, die Temperaturen des Kaltwasserkreises dürfen 5°C nicht unterschreiten. Bereits kurzzeitiger Betrieb außerhalb der festgelegten Temperaturbereiche kann zu Kristallisationseffekten im Inneren des Geräts und damit zu einem Ausfall föhren. Die Wiederinbetriebnahme er-fordert besondere Vorkehrungen und ist im allgemeinen nicht vom Betreiber durchführbar. Die mathematische Modellbildung der beiden solartechnischen Anlagen erfolgte durch Aufstellen von Energieund Stoffbilanzgleichungen für die Ein-zelkomponenten. Die erstellten Glei

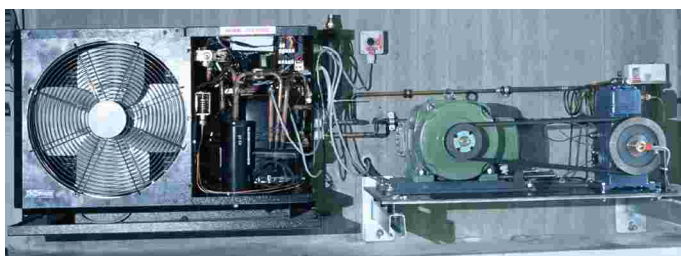


Bild 4 Abwärmeseitige Aggregate der Raumkühlanlage mit Verflüssiger, Gleichstrommotor und offenem Verdichter



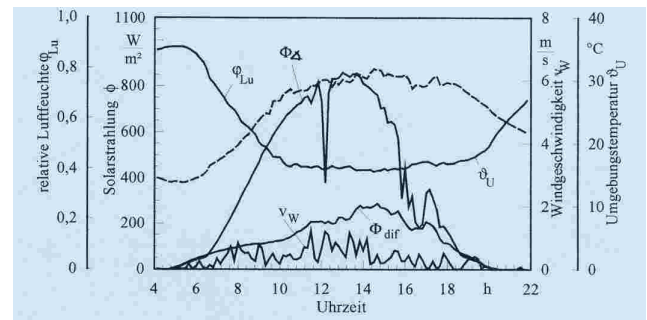
Bild 5: Kühlseitige Aggregate des Kühlgeräts mit Anlaßsteue-rung, Durchflußmeßgerät, Verdampfer und Druck-meßstellen



Bild 6 Absorptionskälteanlage WFC 600S

chungssysteme werden mit Hilfe von Messungen an den Einzelkomponenten verifiziert. Dieses Vorgehen wurde bei der Erstellung der mathematischen Modelle für die Kollektoranlage, den Wärmespeicher, den Kühlturm und den Luftkühler, für Rohrleitungen und Pumpen, für den Solargenerator, die Batteriestation, die Kompressionskältemaschine und die elektrischen Leitungen gewählt. Stehen für die mathematische Modellbildung einer Einzelkomponente keine ausreichenden Daten bezüglich Aufbau und Funktionsweise zur Verfügung, wird das Gerät durch eine phänomenologische Charakterisierung erfaßt. Dabei wird eine Parameterstudie am zu modellierenden Gerät durchgeführt und die Kennlinien mit Hilfe von Regressionen wiedergegeben. Diese Vorgehensweise wurde bei der Modellbildung der Absorptionskälteanlage gewählt. Die mathematischen Modelle für die Einzelkomponenten werden miteinander verknüpft und anhand von Messungen am Gesamtsystem verifiziert. In einem nächsten Schritt wurden die mathematischen Modelle für die Kühlanlagen mit einem Gebäudemodell verknüpft. Es wird vereinbart, daß die Kollektorfächen so aufgestellt werden, daß sie die Einstrahlung auf das Gebäude nicht behindern. Dabei werden für beide Kühlanlagen die gleiche aktive Solarfläche von 48 m², ein Speicher für einen einstündigen Betrieb ohne Einstrahlung sowie eine Nennkälteleistung von

Bild 7 Globalstrahlung in Solarfeldenebene Φ_A , Diffusstrahlung Φ_{dif} , Umgebungstemperatur ϑ_u und relative Luftfeuchte ϕ_{Lu} für den 21. Juli 1994



7 kW_{therm} vereinbart. Bild 7 zeigt die Wetterdaten vom 21. Juli 1994 als Eingangsgrößen für die mathematischen Modelle der Kühlanlagen und des Gebäudes.

Bild 8 zeigt die berechneten Temperaturverläufe in der für die Kühlung vorgesehenen Halle für eine Hallenlänge von 12 m und eine Hallenbreite von 7 m sowie mit unregelmäßigem Betrieb der Kühlanlagen ohne Luftaustausch mit der Umgebung. Es sind jeweils die Temperaturverläufe der ungekühlten Halle $\vartheta_{Halle, 0}$, der mit Hilfe der KKM gekühlten Halle $\vartheta_{Halle, KKM}$ sowie der mit Hilfe der AKM gekühlten Halle $\vartheta_{Halle, AKM}$ dargestellt. Zusätzlich sind die Umgebungstemperatur ϑ_u und der Bereich der zulässigen Raumtemperatur nach DIN 1946 [2] für den 21. Juli 1994 eingetragen.

Für alle genannten Fälle gilt, daß beide Speicher zu Beginn des Tages als im Sinne des Betriebs der Kühlanlagen „leer“ anzusehen sind. Dies bedeutet für die Batteriestation eine Anfangskapazität von 22 % und für den Wärmespeicher eine Temperatur von 75 °C.

Bild 8 zeigt, daß die photovoltaische Kühlanlage frühzeitig mit dem Betrieb beginnt, und daß der Bereich der zulässigen Hallentemperatur gegen Abend in geringem Umfang verlassen wird. Das Absorptionskältesystem 4 kann frühestens um 11 Uhr den Betrieb aufnehmen; die Halle ist dann bereits auf 35 °C erwärmt. Während des Betriebs der Kühlanlagen bleibt die Hallentemperatur innerhalb des zulässigen Bereichs. Demnach kann bei

einer guten Abstimmung von Halle und Kälteanlagen auf eine Regelung verzichtet werden. Der synchrone Gang von solarem Energieangebot und Kälteleistung der Kälteanlagen bringt für den Fall der solaren Kühlung eine bemerkenswerte Vereinfachung und Verbilligung in der Anlagentechnik. Das Prinzip der photovoltaischen Kompressionskälteanlage ist im Zeitverlauf und in der möglichen Laufdauer dem System Solar Kollektor/Absorptionskälteanlage deutlich überlegen.

Insgesamt zeigt es sich, daß solarbetriebene Kühlsysteme grundsätzlich einen Gleichgang von solarer Einstrahlung und Kältebedarf zeigen. Die solarbetriebene Kühlung ist im Vergleich zur solaren Heizung eine natürlich bevorzugte Nutzungsart der Solartechnik. Diese Vorteile, ohne oder mit einem kleinen Speicher auszukommen, weitgehende Nutzung der gesamten Einstrahlung in klimatisch geeigneten Zonen, Verzicht auf komplexe Regeleinrichtungen, si

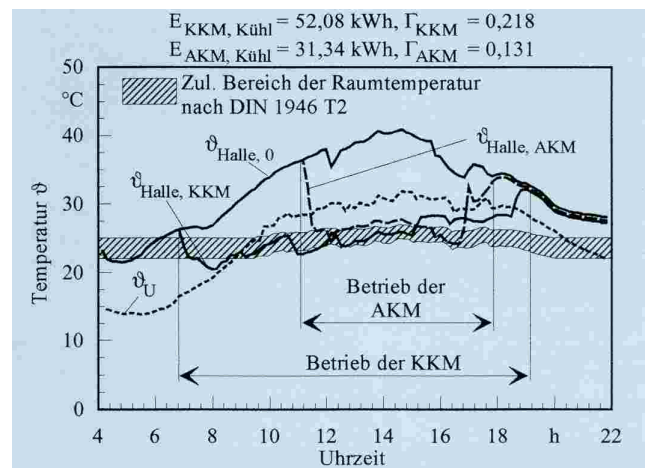


Bild 8: Berechnete Temperaturen der ungekühlten Halle $\vartheta_{Halle, 0}$, der mit Hilfe der KKM gekühlten Halle $\vartheta_{Halle, KKM}$, und der mit Hilfe der AKM gekühlten Halle $\vartheta_{Halle, AKM}$, sowie Umgebungstemperatur ϑ_u für den 21. Juli 1994 für eine Hallenlänge von 12 m, eine Hallenbreite von 7 m sowie einem unregelmäßigen Betrieb der Kühlanlagen ohne Luftaustausch mit der Umgebung.

$E_{AKM, \text{Kühl}}$	Tageskühlenergie der AKM
$E_{KKM, \text{Kühl}}$	Tageskühlenergie der KKM
Γ_{AKM}	Tagesnutzungsgrad der AKM
Γ_{KKM}	Tagesnutzungsgrad der KKM

chere und autonome Energieversorgung auch bei dezentraler Lage, sichern der solaren Kühlung einen deutlichen Vorsprung vor vielen anderen Nutzungsarten der Solartechnik. Insbesondere die photovoltaische Kompressionskühlung erlangt so entgegen der landläufigen Meinung eine große Bedeutung. Wegen der relativ hohen Anlagekosten gewinnen die weiteren baulichen und strukturellen Vereinfachungen wie Abstimmung mit Lage, Orientierung, Fensterzahl, Fenster- und Gebäudeabschattung, Bauphysik, Verzicht auf Regelung und eine kritische Überprüfung der auf der Basis billiger Energie formulierten Komfortdefinitionen besonderes Gewicht. Bei Anerkennung der Tatsache, daß Kühlung in vielen Gegenden dieser Erde kein Luxus ist, kann man sicher sein, daß auf der Basis photovoltaischer Kühlung ein relativ einfaches System verfügbar ist, das dezentral und auch zur Entlastung eines elektrischen Netzes mit Vorteil eingesetzt werden kann, auch ohne Subventionen oder steuerliche oder ordnungspolitische Pressionen.

Für neue Technologien ist es reizvoll, verschiedene Wege auch aus einer erweiterten Sicht, zum Beispiel unter technischen, ökonomischen sowie ökologischen Aspekten, miteinander zu vergleichen. Tabelle 1 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse für die beiden konkurrierenden solaren Kühlsysteme.

Im Bereich der Installation und Inbetriebnahme der Systeme ist die einfachere Verknüpfung der Komponenten des photovoltaischen Systems durch elektrische Leitungen im Gegensatz zu den isolierten Kupferrohrleitungen der thermischen Anlage hervorzuheben. Die photovoltaische Anlage erfordert zudem eine kleinere Anzahl von Komponenten und verfügt über eine kompaktere Bauart, zurückzuführen auf die hohe Dichte der Energieflüsse. Unter energetischen Aspekten ist der elektri-

sche Strom als reine Exergie besonders günstig. Im thermischen System werden beim Betrieb große Energieströme in den Fluidkreisläufen mitgeführt.

Eine Gefährdung für den Betreiber durch die Anlagen ist im wesentlichen durch den elektrischen Strom beziehungsweise die Heißwasserleitungen zu sehen. Dabei ist aufgrund der hohen Gleichspannung von bis zu 320 V DC das Kompressionssystem als gefährlicher einzustufen. Die Neigung der Absorptionskälteanlage zu Ausfällen, bedingt durch Kristallisationseffekte in den inneren Kreisläufen, führt zu einer geringen Bewertung. Die Kompressionskältemaschine erweist sich als deutlich zuverlässiger. Dementsprechend ist auch der Wartungsaufwand hier geringer und die Betriebsführung unkritischer. Die geringere Anzahl und Größe der Komponenten beim photovoltaischen System führen zu einer gegenüber der thermischen Anlage besseren Bewertung bei dem Kriterium des Raumbedarfs und der Gewichtslasten. Die Umweltverträglichkeit zeigt bei dem Kompressionssystem aufgrund des eingesetzten Kältemittels R 22 eine geringe Punktzahl; bei Verwendung eines ozonschichtneutralen Mittels wie zum Beispiel R 134a wird die Bewertung erheblich besser. Die Komponenten des thermischen Systems sind unter Umweltaspekten weitgehend unkritisch. Wird die photovoltaische Kühlanlage mit einem kleinen Speicher ausgestattet und werden aktuelle Preise für die Solargeneratoren angenommen, erscheint die photovoltaische Anlage bei einer zwanzigjährigen Nutzung als preisgünstige Lösung.

Insgesamt zeichnet sich die photovoltaische Kompressionskühlung mit einer Bewertung von 0,356 bei Verwendung des derzeitigen Kältemittels und einer Bewertung von 0,416 bei Verwendung eines ozonschichtneutralen Kältemittels

durch eine im Vergleich zum Wert des solarthermisch betriebenen Absorptionskühlsystems bessere Gesamtbewertung aus.

Schlüsselwörter

Photovoltaische Kühlung
Solarthermische Kühlung
Absorptionskälteanlage
Kompressionskälteanlage
Bewertungskriterien

Literatur

- [1] Fett, F. N.; Gems, B.: Photovoltaische und thermische solare Kühlung im Vergleich, Abschlußbericht für das von der AG Solar NRW geförderte Vorhaben zur solaren Kühlung, Projekt-Nr.: 252 00491. Dissertation Universität-GH Siegen, 1995
- [2] DIN 1946 T2: Raumlufttechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen, Hrsg. Deutsches Institut für Normung. Berlin, Köln: Beuth-Verlag 1994

Tabelle 1 Zusammenfassung der diskutierten Kriterien und Bewertungen in einer Entscheidungsmatrix

Kriterium	Gewichtung	Bewertung KKM	Bewertung AKM
Installation und Inbetriebnahme	0,1	0,8	0,4
energetische Aspekte	0,9	0,7	0,4
Gefährdungspotential	0,8	0,3	0,8
Zuverlässigkeit	1,0	0,9	0,2*
Wartungsaufwand	0,2	0,8	0,2
Betriebsführung	0,3	0,8	0,5
Raumbedarf und Gewichtslasten	0,2	0,7	0,2
Umweltverträglichkeit	0,9	0,1**(0,7)	0,9
Kosten	0,9	0,8	0,4
$\frac{1}{\text{Anzahl}} \sum \text{Gewichtung} \cdot \text{Bewertung}$		0,356 (0,416)	0,293

* Die Zuverlässigkeit wird nach eigenen Erfahrungen vergleichsweise gering eingeschätzt. Bei vollständig geregelten Neuanlagen kann eine höhere Bewertung möglich sein.

** Die Verwendung von R22 als Kältemittel in der vorhandenen Anlage führt zur Abwertung. Bei Verwendung von R 134a erhöht sich die Bewertung auf 0,7.