

Solare Kühlung und Klimatisierung – Belüftung und Wärmerückgewinnung

Einführung

Der Markt für Klimatechniken wächst. Dies liegt an wachsenden Komfortansprüchen, Zunahme von Wärmequellen innerhalb von Gebäuden (elektrische Geräte, Computer), architektonischen Trends und nicht zuletzt an der Zunahme der Außentemperaturen im Sommer. Die sommerliche Klimatisierung von Gebäuden erzeugt einen steigenden Energiebedarf, der heute fast ausschließlich durch Strom gedeckt wird. Die Nutzung von solarthermisch angetriebenen Klimatisierungsverfahren ist eine viel versprechende Möglichkeit, um den Strombedarf für die Klimatisierung zu reduzieren.

Solare Kühlungs- und Klimatisierungstechniken

Heute stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung, um Solarwärme zur Gebäudeklimatisierung zu nutzen. Bislang sind allerdings nur zentrale solarthermisch angetriebene Anlagen für Gebäude oder Gebäudebereiche technisch möglich, nicht dagegen Anlagen für den dezentralen Einsatz in einzelnen Räumen. Generell sind Klimatechniken hinsichtlich des thermodynamischen Verfahrens und hinsicht-

lich des „Kälteträgers“ zu unterscheiden (siehe *Abb. 1*). Die verwendeten Anlagen stellen entweder Kaltwasser bereit (geschlossene Kältemaschinen) oder sie entziehen der Frischluft Feuchtigkeit und senken die Raumtemperatur (offene Sorptionsverfahren).

Unter Sorption versteht man die reversible Anlagerung eines Kältemittels, wie z. B. Wasser in einem zweiten Stoff. Im Falle der Feststoffsorption (Adsorption) handelt es sich hierbei um ein hochporöses Material wie z. B. Zeolith oder Silikagel. Bei der Flüssigsorption wird dagegen ein Lösungsmittel mit hoher Affinität zur Aufnahme des Arbeitsstoffs verwendet. Die Sorption an festen wie auch an flüssigen Sorptionsmitteln kann sowohl in geschlossenen Maschinen als auch in offenen Verfahren Verwendung finden.

Geschlossene Kältemaschinen

Bei der Verwendung von geschlossenen Kältemaschinen wird Kaltwasser aus thermischer Energie bereitgestellt, das für die Raumklimatisierung eingesetzt werden kann. Die drei wichtigsten Techniken sind:

- Absorptionskältemaschinen,
- Adsorptionskältemaschinen und
- Dampfstrahlkältemaschinen.

Dr. Hans-Martin Henning

Fraunhofer ISE

hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

Prof. Dr. Rainer Braun

Fachhochschule

Gelsenkirchen -

Energie-Institut

rainer.braun@fh-gelsenkirchen.de

fh-gelsenkirchen.de

Dr. Ahmet Lokurlu

SOLITEM GmbH

a.lokurlu@solitem.de

Dr. Peter Noeres

Fraunhofer UMSICHT

(Institut für Umwelt-,

Energie-, und Sicher-

heitstechnik)

peter.noeres@umsicht.fraunhofer.de

umsicht.fraunhofer.de

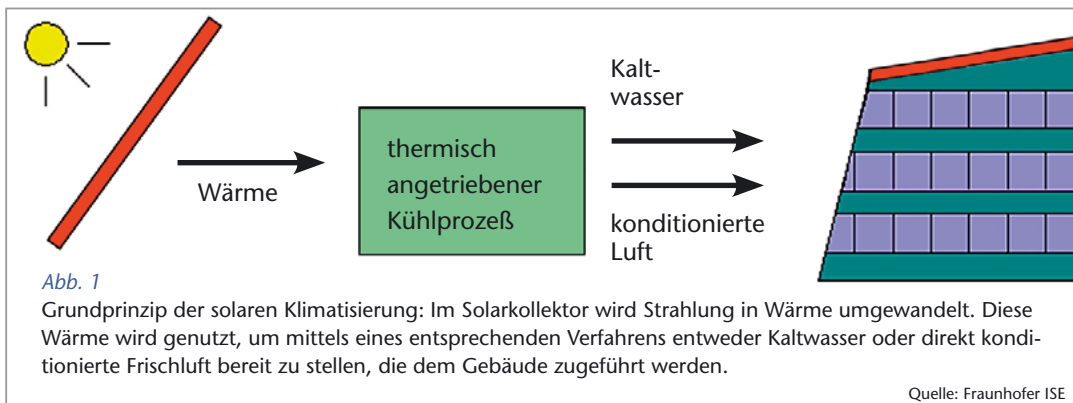


Abbildung 1

Abb. 1

Grundprinzip der solaren Klimatisierung: Im Solarkollektor wird Strahlung in Wärme umgewandelt. Diese Wärme wird genutzt, um mittels eines entsprechenden Verfahrens entweder Kaltwasser oder direkt konditionierte Frischluft bereit zu stellen, die dem Gebäude zugeführt werden.

Quelle: Fraunhofer ISE

Bei Absorption und Adsorption handelt es sich um thermochemische Verfahren, bei denen ein Zweistoffgemisch aus Kältemittel und Sorptionsmittel genutzt wird, um eine thermische Verdichtung des Kältemittels zu erreichen. Die Dampfstrahlkältetechnik ist ein thermo-mechanisches Verfahren mit nur einem Stoff. Der wesentliche Bestandteil der Dampfstrahlkältemaschine ist der Strahlverdichter. Bei diesem wird mit Hilfe eines Treibmediums Kältemittel-dampf vom Verdampferdruckniveau auf das Kondensatordruckniveau gefördert. Details zu den Verfahren sind beispielsweise in dem BINE-Informationenblatt „Klimatisieren mit Sonne und Wärme“ beschrieben [1].

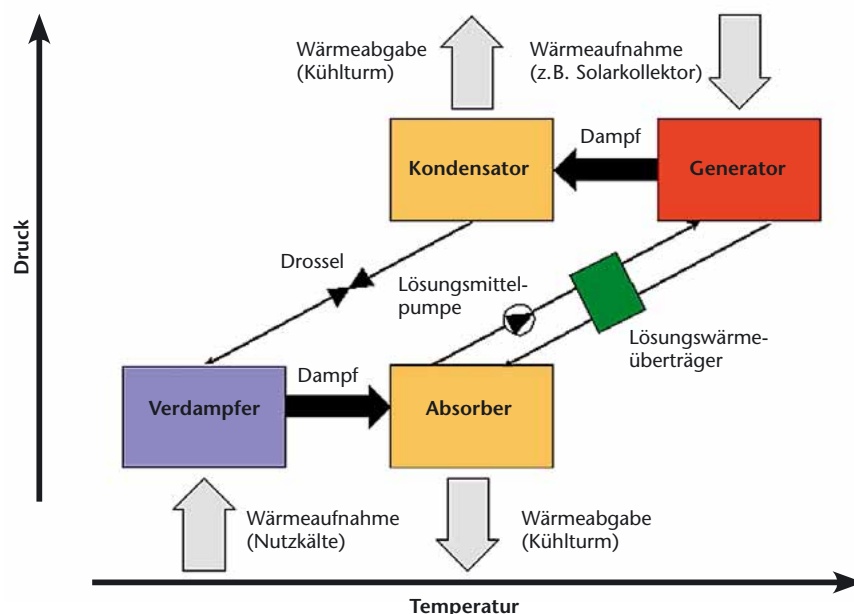
Die benötigte Kaltwassertemperatur für die Raumklimatisierung hängt entscheidend davon ab, ob Geräte versorgt werden, die auch für die Luftentfeuchtung (latente Lasten) benutzt werden, oder ob die angeschlossenen Räume nur zur Kontrolle der Temperatur (sensibler Lasten) dienen. In zentralen Lüftungsgeräten oder dezentralen Umluftgeräten, die sowohl zur Kontrolle der Temperatur als auch der Feuchte der Raumluft verwendet werden und die in südlichen Ländern sehr verbreitet sind, wird die Luft unter den Taupunkt abgekühlt. Dadurch kondensiert ein Teil des Wasserdampfes der Luft und die absolute Feuchte im Raum sinkt. Um eine solche Luftentfeuchtung zu ermögli-

chen, sind Kaltwassertemperaturen im Bereich 6 - 9 °C erforderlich. Soll die Kältemaschine jedoch lediglich für die Abfuhr sensibler Lasten eingesetzt werden, so reichen deutlich höhere Kaltwassertemperaturen im Bereich 15 - 20 °C aus. Beispiele für entsprechende Techniken sind Flächenkühlsysteme also Kühldecken, Fußbodenkühlung, Wandflächen mit integrierten Kapillarrohrmatten oder Bauteilkühlung bzw. Betonkernkühlung. In Frage kommen auch andere Systeme der stillen Kühlung wie Umluftkühler, die mit natürlicher Luft-Zirkulation arbeiten. In Abb. 2 ist das Schema einer Absorptionskältemaschine als der heute wichtigsten der genannten Techniken dargestellt.

In Abb. 2 befindet sich der Verdampfer auf niedrigem Druckniveau bei ca. 10 mbar. Das Kältemittel Wasser verdampft daher bereits bei 4 - 7 °C. Die Verdampfungswärme wird von einem äußeren Kältekreis aufgebracht und erzeugt so die nutzbare Kälteleistung. Der entstandene Kältemitteldampf wird im Absorber durch konzentrierte LiBr-Lösung absorbiert und kann – da er sich jetzt im flüssigen Zustand befindet – durch geringen Energieaufwand mit einer Lösungsmittelpumpe (auf das höhere Druckniveau gefördert werden. Durch die Zufuhr von solar erzeugter Antriebswärme mit einer Temperatur von ca. 70 ° - 95 °C wird der Kältemitteldampf im Generator wieder aus der

Abbildung 2
Schema einer einstufigen Lithiumbromid (LiBr)-Wasser-Absorptionskältemaschine.

Quelle: Fraunhofer ISE



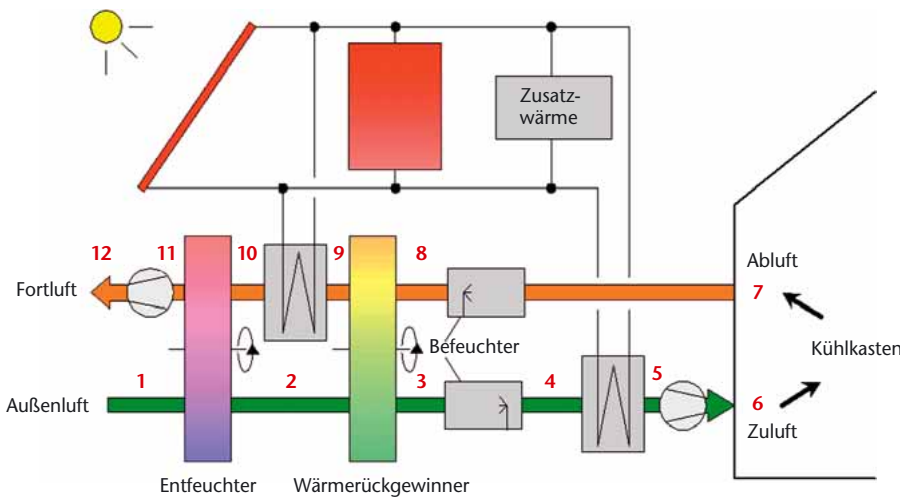


Abbildung 3
Standardverfahren
der sorptionsgestütz-
ten Klimatisierung
mit Sorptionsrotor
(Entfeuchter).

Quelle: Fraunhofer ISE

Wasser-LiBr-Lösung angetrieben und im Kondensator durch zugeführtes Kühlwasser bei rund 30°C verflüssigt. Das Kältemittel kann nun – nach Drosselung auf das niedrige Druckniveau – im Verdampfer erneut verdampft werden. Die im Generator gewonnene konzentrierte Lösung wird über einen Lösungswärmeübertrager in den Absorber zurückgeführt.

Offene Verfahren

Offene Verfahren basieren generell auf einer Kombination der sorptiven Luftentfeuchtung mit der Verdunstungskühlung. Sie werden im deutschsprachigen Raum als sorptionsgestützte Klimatisierung (SGK) und im Englischen als „Desiccant and Evaporative Cooling (DEC)“ bezeichnet. Das Kältemittel Wasser ist dabei in direktem Kontakt mit der Atmosphäre – deshalb die Bezeichnung als „offenes Verfahren“. Solche Lüftungsanlagen haben primär die Aufgabe, einen Raum mit gefilterter Frischluft zu versorgen. Die Sorptionstechnik ermöglicht es mit Hilfe von thermischer Antriebsenergie, diese Frischluft zu konditionieren, also ihre Temperatur und Feuchte zu kontrollieren. Somit geht die Funktion über die Kältebereitstellung hinaus, was einen direkten Vergleich mit Kaltwassererzeugern schwierig macht.

Die heute wichtigste Bauausführung von offenen Sorptionsanlagen nutzt Sorptionsrotoren als zentrale Komponente zur Luftentfeuchtung. Es sind unterschiedliche Ausführungen für unterschiedliche Klimabedingungen möglich

(feucht-heiss, trocken-heiss, moderat usw.). Der in moderaten Klimazonen anwendbare Standardzyklus mit Verdunstungskühlung sowohl in der Zuluft als auch der Abluft ist in Abb. 3 dargestellt. Die gleichen Anlagen können auch im Winter genutzt werden. Hier kann die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung und bei Bedarf auch der Feuchtrückgewinnung ebenfalls zur Energieeinsparung unter Verwendung der gleichen Systemkomponenten angewendet werden. Neuere Verfahren arbeiten mit flüssigen Sorptionsmitteln oder neuen Komponenten der Feststoffsorption.

Weitere Details zu den Verfahren sowie eine Übersicht zur Thematik insgesamt gibt beispielsweise ein Themen-Info des BINE Informationsdiensts [1].

Beschreibung des in Abb. 3 dargestellten Standardverfahrens:

- 1 → 2 die Außenluft wird zunächst entfeuchtet, dabei aber durch die freiwerdende Sorptionswärme und Wärmeübertragung von der Abluftseite erwärmt;
- 2 → 3 die Luft wird im Gegenstrom zur Abluft im Wärmerückgewinner (WRG) vorgekühlt;
- 3 → 4 mittels direkter Verdunstungskühlung wird die Luft durch Einsprühen von Wasser bei Zunahme der Feuchte abgekühlt;
- 4 → 5 der Wärmeübertrager ist nur im Winter zur Lufterwärmung erforderlich;

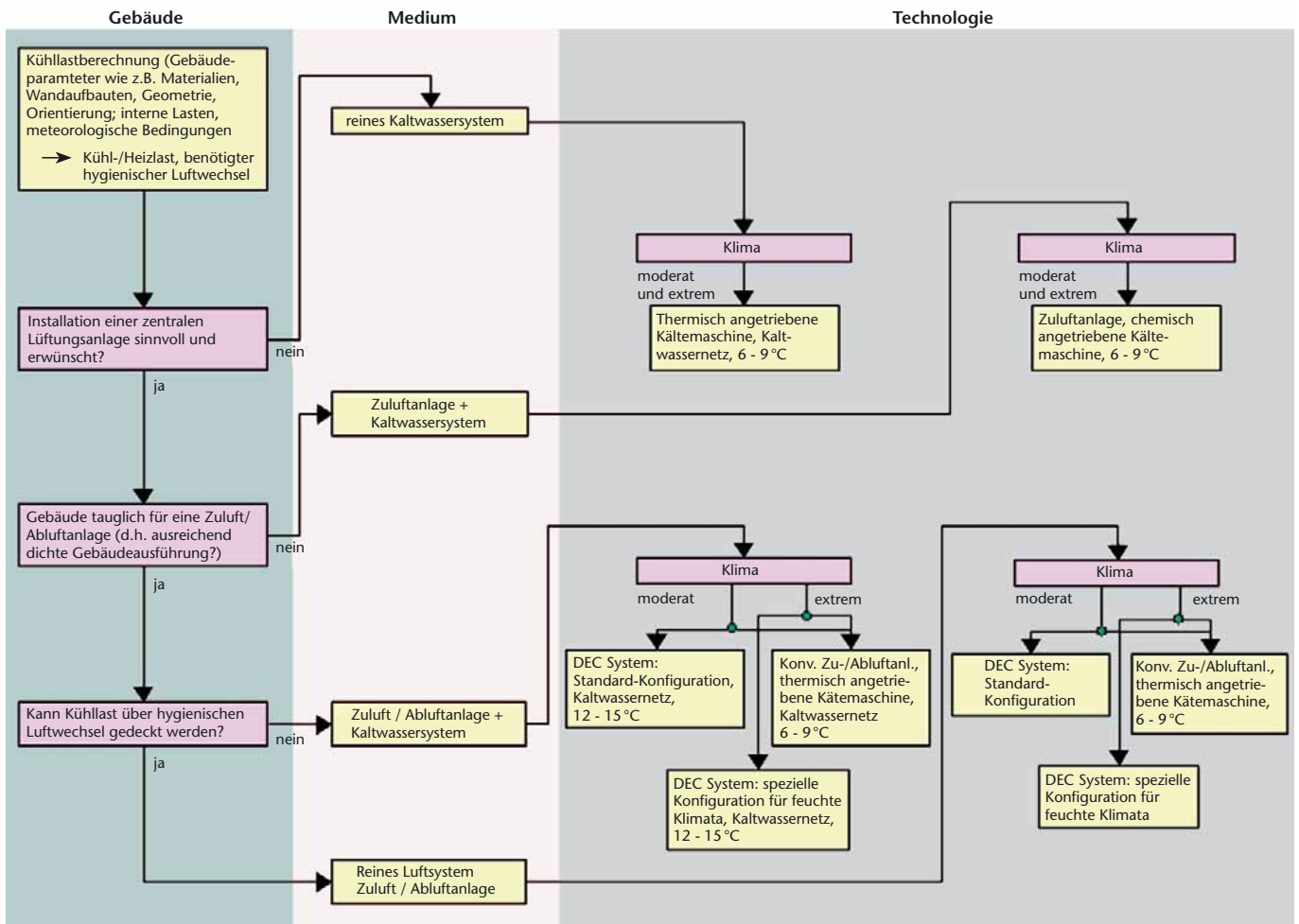


Abbildung 4
Entscheidungsschema zur Systemauswahl

Quelle: Fraunhofer ISE

6 mittels Ventilator in den Raum geförderte Zuluft wird durch interne Lasten (sensibel, latent) erwärmt und die Feuchte nimmt zu; 7 → 8 die Abluft wird befeuchtet und dadurch abgekühlt; 8 → 9 die Luft erwärmt sich im Gegenstrom zur Zuluft im Wärmerückgewinner; 9 → 10 die bereits vorgewärmte Luft wird mittels extern zugeführter Wärme auf Regenerationstemperatur (ca. 60 - 80 °C) erwärmt; 10 → 11 die Regenerationsluft entzieht dem Sorptionsmaterial im Rotor die auf der Zuluftseite zugeführte Feuchte. Der Sorptionsrotor rotiert langsam mit rund 8 bis 12 Umdrehungen pro Stunde.

Systemauswahl

Welche Anlagentechnik vorteilhaft eingesetzt werden kann, um Solarwärme für die Raumklimatisierung zu nutzen, hängt von vielen Randbedingungen ab. Entscheidende Kriterien sind neben den klimatischen Bedingungen die Menge und Zusammensetzung der Kühllasten, die Erfordernisse des Bauherren oder Nutzers nach einer zentralen, mechanischen Lüftungstechnik sowie die Gebäudedichtheit, die darüber entscheidet, ob es sinnvoll ist, eine Zu-/Abluft-Anlage zu installieren. Im Rahmen eines unter dem Dach der Internationalen Energie-Agentur (IEA) durchgeführten, internationalen Projektes zur solaren Klimatisierung wurde ein Entscheidungsbaum entwickelt, der die Auswahl geeigneter Anlagen erleichtert. Das Entscheidungsschema ist in *Abb. 4* dargestellt. Das gesamte Dokument mit Anwendungsbeispielen kann von der Internet-Seite des IEA-Projektes geladen werden [2].

Beispiele für Anlagen mit solarthermischen Kollektoren

Heute sind in Europa rund 70 Anlagen installiert, die solarthermische Kollektoren für die solare Gebäudeklimatisierung verwenden. Die meisten der Anlagen wurden in Deutschland und Spanien realisiert. Die insgesamt installierte Kälteleistung beträgt rund 6,3 MW und die hierfür installierte Kollektorfläche knapp 17.500 m². Rund 60% der Anlagen verwenden Absorptionskältemaschinen, etwa 12% Adsorptionskältemaschinen und rund 27% offene Kühlverfahren.

Der Mittelwert der spezifischen Kollektorfläche aller Anlagen beträgt rund 2,9 m²/kW. Ein Wert von 3 - 3,5 m²/kW kann als Anhaltspunkt für thermisch angetriebene Kältemaschinen gelten. Bei den offenen Verfahren ist eine Angabe bezogen auf die Luftmenge üblicher. Hier hat sich ein Wert zwischen 8 und 10 m² pro 1000 m³/h installierter Luftleistung als sinnvolle Größenordnung herausgestellt. Diese Werte sind aber nur grobe Anhaltspunkte und ersetzen keinesfalls eine detaillierte und angepasste Anlagenauslegung. So hängt die Auslegung beispielsweise entscheidend von der anteiligen Verteilung der Kühllasten (innere Lasten, äußere Lasten) ab und im Einzelfall kann eine um einen Faktor 2 größere Kollektorfläche sinnvoll sein. Im Folgenden sollen zwei beispielhafte Anlagen näher beschrieben werden: eine Anlage mit einstufiger Absorptionskältemaschine, die am Fraunhofer Umsicht in Oberhausen installiert wurde, und eine Anlage mit zweistufiger Absorptionskältemaschine und Parabolrinnenkollektoren zur Klimatisierung eines Hotels in der Türkei.

Solarthermische Kühlung beim Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen

Die solarthermische Kühlung beim Fraunhofer UMSICHT wird seit August 2002 betrieben und speist das Kaltwasser in ein institutsinternes Kaltwassernetz ein. Die Kälte wird zur Zeit vornehmlich zur Kühlung von Labor- und Installationsräumen (EDV/Schaltanlagen) benötigt. Seit Anbindung des Labors Anfang 2005 an das Kaltwassernetz konnte eine deutliche Zunahme des Kältebedarfes festgestellt werden, der die verfügbare Wärmeleistung der Solarkollektoren

im Tagesmittel und an warmen Sommertagen teilweise übersteigt. Deshalb wurde in diesem Jahr erstmals auch mit der hauseigenen Mikrogasturbine (Turbec-Turbine) unterstützend gearbeitet.

Die erzielbare Kälteleistung des einstufigen Absorbers beträgt nach Herstellerangaben maximal 58 kW_{th}. Zum solarthermischen Betrieb stehen 110 m² Vakuumröhrenkollektorfläche zur Verfügung, die unter Nennbedingungen Heizwasser auf einem Temperaturniveau von 97/105 °C (Rücklauf Kältemaschine / Vorlauf KM) zur Verfügung stellen. Eine Besonderheit der Anlage ist die Möglichkeit, auch ohne Absorptionskältemaschine durch freie Kühlung in Nachtzeiten oder in der Übergangszeit Wärme an die Umgebung abzuführen. Hiermit können ca. 20% des jährlichen Kältebedarfs gedeckt werden. Die Solarwärme wird bei fehlendem Kältebedarf auch zur Heizungsunterstützung in das gebäudeeigene Heiznetz eingespeist. Ein vereinfachtes Verfahrensschema zeigt *Abb. 5*.

Solarthermische Klimatisierung im türkischen Hotel „Sarigerme Park“

Im April 2004 wurde in dem Ferienhotel „Iberotel Sarigerme Park“ an der türkischen Ägäisküste ein System zur Solaren Klimatisierung und Prozessdampferzeugung installiert und in Betrieb genommen. Die Anlage verfügt über ein 180 m² großes Parabolrinnenkollektorfeld (*Abb. 6*), welches das Wärmeträgermedium Wasser auf 180 °C erhitzt und einem Dampferzeuger zur Verfügung stellt, der Satttdampf von 4 bis 5 bar erzeugt. Das Wasser fließt mit einer Rücklauf-temperatur von 155 °C zum Kollektorfeld zurück und schließt den Heißwasserkreislauf.

Der erzeugte Dampf wird zum einen direkt als Prozessdampf in der Wäscherei des Hotels für die Trocknung verwendet, zum anderen einer zweistufigen Absorptionskältemaschine (AKM) zur Verfügung gestellt. Die AKM, die mit einem sehr hohen COP (Coefficient Of Performance) von 1,3 bis 1,5 (in Teillast) arbeitet, treibt einen Kaltwasserkreislauf an. Das austretende Kaltwasser verlässt die AKM mit 6 °C und nimmt die Wärme aus den Hotelzimmern auf. Auf einem Temperaturniveau von 12 °C fließt das Wasser zur AKM zurück. In einem zweiten

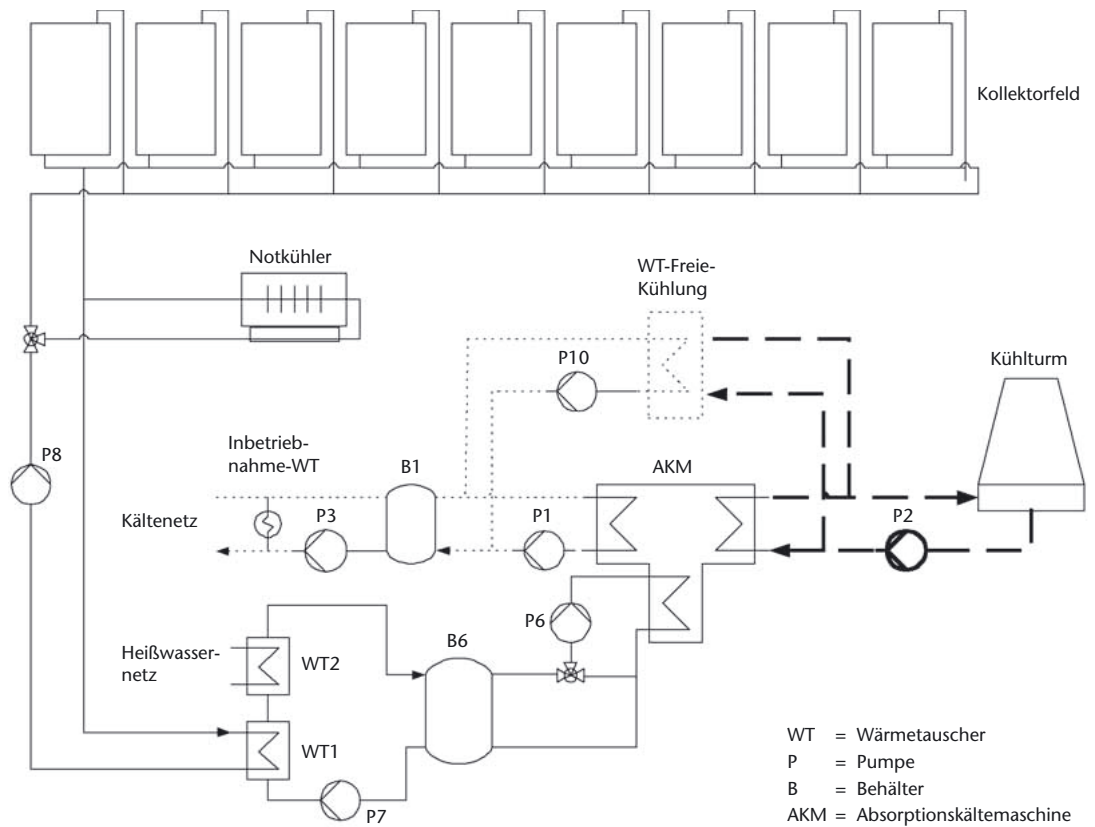


Abbildung 5
Vereinfachtes Schema
der solaren Kälteerzeugung
im Fraunhofer
UMSICHT



Abbildung 6
Blick auf das Parabol-
rinnen-Kollektorfeld
einer türkischen
Hotelanlage
Quelle: SOLITEM GmbH

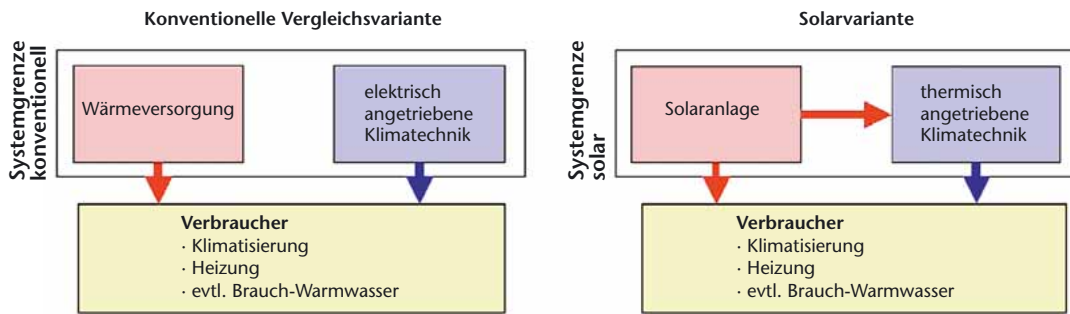


Abbildung 7
Systemgrenze solare Klimatisierung und konventionelles Vergleichssystem
Quelle: Fraunhofer ISE

Kaltwasserkreislauf wird der Absorptionskältemaschine die aufgenommene Wärme auf höherem Temperaturniveau wieder entzogen. Das Wasser verlässt die AKM mit 35 °C, durchläuft einen Kühlturm und fließt mit 27 °C zurück. Um die Gesamteffizienz übers Jahr zu steigern, wird das System bivalent betrieben. Im Sommer wird gekühlt und Dampf bereitgestellt, während im Winter – wo Klimatisierung nicht immer notwendig ist – die Anlage auch zu Beheizungszwecken und zum Heizen des Swimmingpools verwendet werden kann. Zusätzlich wird der Betrieb nach Tarifzeiten für Strompreise optimiert. In den Niedertarifzeiten, in denen Strom günstig ist, wird weniger Kälte erzeugt zugunsten von erhöhter Prozessdampfbereitstellung. In den Hochtarifzeiträumen, in denen Strom teuer ist, wird vor allem Kälte bereitgestellt, um möglichst viel Strom zu sparen. Durch diese intelligente Kombination wird das System insgesamt erheblich wirtschaftlicher.

Wirtschaftlichkeit

Um Anlagen der solaren Klimatisierung wirtschaftlich bewerten zu können, muss ein Vergleich mit einem definierten konventionellen System sowohl hinsichtlich der Energieeinsparung als auch hinsichtlich der Kosten durchgeführt werden.

Für einen derartigen Vergleich muss deshalb die Systemgrenze erweitert werden. Die solar betriebene Variante, die das Solarsystem (einschließlich Speicher und Backup-System) sowie die thermisch angetriebene Klimatechnik umfasst, muss mit der konventionellen Variante, bestehend aus dem fossil befeuerten Heizkessel

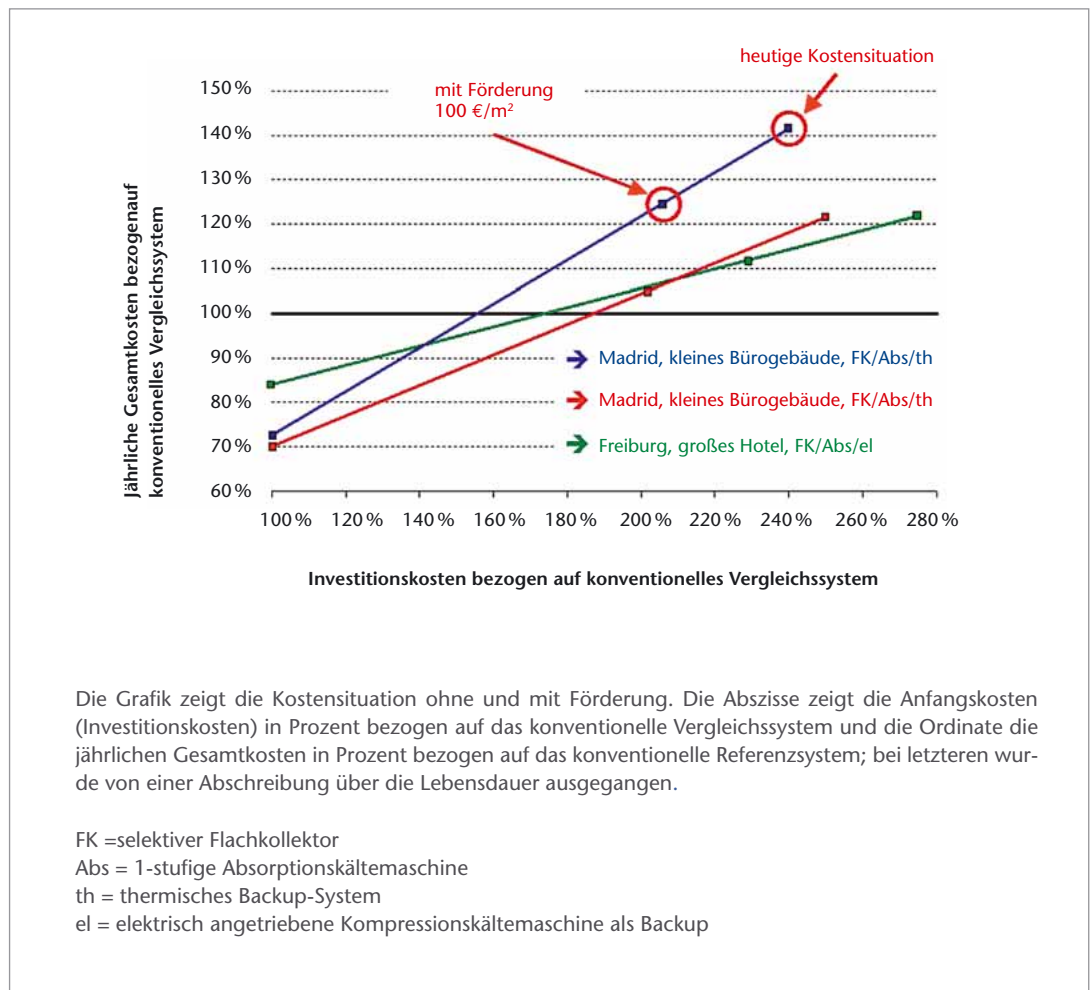
der elektrisch angetriebenen Klimatechnik, verglichen werden. Demnach ist bei beiden Varianten nicht nur der thermische Antrieb, sondern auch die Kältetechnik bzw. Klimatechnik mit in Betracht zu ziehen. Die Komplexität dieser Aufgabe ist in Abb. 7 dargestellt.

Im Rahmen mehrerer Studien wurden systematische Untersuchungen zur Kostensituation durchgeführt. Dabei gehen eine Vielzahl von Parametern wie die Kosten konventioneller Energieträger, die Investitionskosten aller Komponenten, die Auslegung der solaren Variante und viele weitere ein. Eine ausführlichere Darstellung der Vergleichsergebnisse findet sich im Tagungsband des 3. Symposiums Solares Kühlen in der Praxis [3]. Abb. 8 zeigt beispielhaft Ergebnisse für die Klimatisierung eines „kleinen“ Bürogebäudes (ca. 1000 m² klimatisierte Nutzfläche) und eines „großen“ Bürogebäudes (ca. 10.000 m²) in Madrid sowie die Klimatisierung eines Hotels in Freiburg (ca. 6.500 m² klimatisierte Nutzfläche). Alle Ergebnisse wurden mittels Simulationsrechnungen erzielt. Dafür wurden unterschiedliche Auslegungen (Kollektortypen, Kollektorflächen, Größe eines Wärmespeichers, Backup-Systeme zu Wärme- und Kälteerzeugung mit konventioneller Energie) untersucht und diejenige mit den niedrigsten Kosten pro eingesparter Einheit Primärenergie selektiert. Die Kostensituation für diese Auslegung ist jeweils in Abb. 8 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Anfangskosten (Investitionskosten inklusive Planungskosten) um einen Faktor 2 bis 2,5 höher liegen als für konventionelle Verfahren. Die Energieeinsparung bei Verwendung der solaren Klimatisierung führt zu einer Reduktion in den Verbrauchskosten.

Abbildung 8
Kostensituation für solare Klimatisierung für Beispielsysteme in Madrid und Freiburg

Quelle: Fraunhofer ISE



Eine Gesamtkostenrechnung unter der Annahme einer Abschreibung über die Lebenszeit führt somit zu Mehrkosten von 20 bis 40 % (ohne Förderung) bzw. 5 bis 20 % (mit angenommener Förderung in Höhe von 100 Euro pro m² Kollektorfläche). Diese Ergebnisse können als typisch für die heutige Situation (deutsche Energiepreise aus 2004) gelten.

Forschungstrends und -bedarf

Kostensenkungen

Forschungsarbeiten zielen insgesamt auf eine Verbesserung der Kostensituation für solare Klimatisierung. Dabei sind zwei Haupttrends zu beobachten:

- Weiterentwicklung der kälte- oder klimatechnischen Verfahren, um die Effizienz zu verbessern, sodass höhere Gesamtwirkungsgrade erreicht werden oder aber die gleichen Wirkungsgrade mit niedrigeren Antriebstemperaturen und somit mit einfacheren Kollektortechniken erreicht werden können.
- Lösungen, bei denen deutlich höhere Temperaturen zum Antrieb verwendet werden, als mit den heute verbreiteten Verfahren. Dadurch können entweder zweistufige Kälteverfahren mit einer nennenswert höheren Effizienz eingesetzt werden oder es können tiefere Temperaturen auf der Kälteseite bei zugleich hohen Rückkühltemperatures erzielt werden. Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz von einstufigen Ammoniak-Wasser-Kältemaschinen mit trockener Rückkühlung in heißen Klimazonen, die einen Eisspeicher laden. In all diesen Fällen ist eine

sehr effiziente Kolleorteknik erforderlich, um die notwendigen Antriebstemperaturen im Bereich 140-180°C zu erzielen. Hierfür kommen praktisch nur einachsige nachgeführte, konzentrierende Kollektoren in Frage.

Kältemaschinen im Bereich kleiner Leistungen

Ein weiterer Trend, der in den vergangenen fünf Jahren sowohl in Deutschland als auch in weiteren europäischen Ländern zu beobachten war, betrifft die Entwicklung von Kältemaschinen im Bereich kleiner Leistungen (2 bis 30 kW Kälteleistung). Eine derartige Entwicklung soll im Folgenden kurz beispielhaft dargestellt werden:

Bei der Entwicklung handelt es sich um eine neuartige einstufige Ammoniak-Wasser Absorptionskältemaschine, die auf der Basis einer seit Jahren installierten Demonstrationsanlage ausgelegt worden ist. Die Anlage hat eine Leistung von 25 kW und kann Kälte bei Temperaturen im Bereich -2°C bis 3°C bereit stellen; damit ist sie auch zur Eiszerzeugung einsetzbar. Die Heißwassertemperatur für den thermischen Antrieb liegt im Bereich 85 - 95 °C und der Nenn-COP¹ bei 0,5. Ziel der Anlage ist es, eine autarke Solarversorgung für ein Kühllager im kleinen Leistungsbereich zu ermöglichen. Ein Schema des konzipierten Gesamtsystems sowie eine Kostenkalkulation findet sich in *Abb 9*. Weitere Details sind in [4] beschrieben. Eine Übersicht über sonstige Entwicklungsprojekte kann in [5] nachgelesen werden.

Systemtechnik

Neben der Weiterentwicklung im Bereich der Komponenten betrifft der zukünftige Forschungsbedarf vor allem die Systemtechnik. Ob die möglichen Einsparungen bei Einsatz solare Klimatisierung in der Praxis realisierbar sind, hängt von dem planmäßigen Funktionieren der Anlagen ab. Erfahrungen mit Anlagen, die im Rahmen von Pilot- und Demonstrationsprojekten realisiert wurden, zeigen, dass durch Mängel in der hydraulischen Verschaltung und der Regelungstechnik dieses Potenzial zunächst vielfach nicht realisiert wird. Nur ein intensives, begleitendes Monitoring mit kontinuierlicher

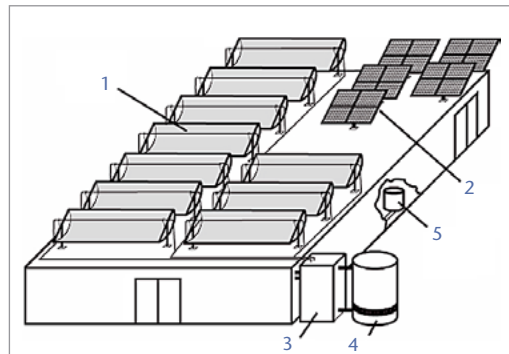


Abbildung 9
Schema des 300 m²
Kühllager-Depots:

- (1) Parabol-Rinnen-Kollektor
- (2) PV-Anlage
- (3) Neuartige Absorptionskältemaschine, COP = 0.70
- (4) Nasskühlturm
- (5) Innen liegender Eisspeicher

NH₃/H₂O-Absorptionskühlung, Energieversorgung durch Parabolrinnenkollektor für ein 300 m² Kälteenergiespeicher

Komponente	Investition
1) Parabolrinnenkollektor, 10 Kollektormodule, 90 m ² , 43 kW	50.000,- €
2) PV-Anlage für Notstromversorgung, 26 m ² , 3,3 kW _p	22.500,- €
3) NH ₃ /H ₂ O-Absorptionskühler, Verdampfungstemperatur -4 °C, 30 kW	43.500,- €
4) Nasskühlturm 36 °C/30 °C, 74 kW	4.500,- €
5) Eisspeicher, 1000 kg, 90 kWh	6.500,- €
Gesamt	127.000,- €
jährliche Abzahlungen	11.900,- €
spezifische Kühlkosten	0,18 €/kWh

Fehleranalyse und Optimierung der Regelungstechnik führt letztlich zu einer Funktion der Anlage entsprechend der Planung. Insofern ist eine Weiterführung der Förderung von Demonstrationsanlagen mit begleitendem Monitoring und Betriebsanalyse unabdingbar, um bewährte, standardisierte Anlagenkonzepte und regelungstechnische Verfahren zu entwickeln. Hier stellt das Programm „Solarthermie 2000 plus“ des Bundesumweltministeriums eine wertvolle Förderung dar, um neue, optimierte Anlagen zu erstellen und Planungs- und Betriebspraxis zu optimieren, dokumentieren und zu verbreiten.

¹ Eine Schlüsselgröße zur Beschreibung der Effizienz von thermisch angetriebenen Kältemaschinen ist das Wärmeverhältnis (engl. Coefficient Of Performance, COP). Der COP ist definiert als das Verhältnis aus Kälteleistung und hierfür benötigter Antriebswärmeleistung.

Zusammenfassung

Unterschiedliche technische Lösungen zur Nutzung thermischer Solarenergie für die sommerliche Gebäudeklimatisierung sind marktverfügbar. Die Anwendung dieser Techniken kann zu nennenswerten Reduktionen im Primärenergieverbrauch führen, sofern die Systeme entsprechend ausgelegt sind. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende Dimensionierung des Solarkollektorfeldes und – je nach Randbedingungen – die Integration von Speichern in das Gesamtsystem.

Die Anzahl der heute installierten Anlagen ist allerdings noch sehr gering. Erfahrungen mit installierten Anlagen und deren Betrieb belegen die Notwendigkeit weiterer messtechnisch begleiteter Demonstrationsanlagen. Dadurch sind auch weitere Kostenreduktionen zu erwarten, sodass mittelfristig eine Amortisation der Anlagen innerhalb der Lebensdauer – zumindest mit einer Förderung im Bereich 100 Euro/m² – machbar erscheint.

Eine neue Anwendungsmöglichkeit in den nächsten Jahren ergibt sich aus der zunehmenden Verfügbarkeit kleiner thermisch angetriebener Kältemaschinen. Dadurch sind auch Anwendungen im kleinen Leistungsbereich (< 30 kW) erschließbar. Eine interessante Kombination stellt z. B. die Erweiterung von solarthermischen Anlagen zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlagen) um eine kleine Kältemaschine dar. Damit kann eine sinnvolle Nutzung der bislang nicht nutzbaren Überschüsse der Solaranlage im Sommer erreicht werden.

Literatur

- [1] Henning, H-M. (Autor); Meyer, F. (Redaktion): Klimatisieren mit Sonne und Wärme. BINE Informationsdienst; themen-info I/04.
- [2] Decision Scheme for the Selection of the Appropriate Technology Using Solar Thermal Air-Conditioning - Guideline Document. IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 25: Solar-assisted air-conditioning of buildings. www.iea-shc-task25.org
- [3] Henning, H-M.: Wirtschaftlichkeitsanalyse solarthermische Kühlung. Tagungsband 3. Symposium Solares Kühlen in der Praxis, Fachhochschule Stuttgart, 26-27.4.2004, Stuttgart
- [4] Wolfgang Stürzebecher, Rainer Braun, Eric Garbett, Malcolm Denman: Solar Driven Sorption Refrigeration Systems for Cold Storage Depots. Proc. HPC 2004 – 3rd International Conference on Heat Powered Cycles, Cyprus, October 2004
- [5] Henning, H-M.: Solare Klimatisierung – Stand der Entwicklung. erneuerbare energie (Österreich), Heft 2-05