Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 14/15

Artikel: Thermische Solarenergie für die Gebäudeklimatisierung
Autor: Henning, Hans-Martin / Hindenburg, Carsten
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79716

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 31.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Hans-Martin Henning, Carsten Hindenburg, Freiburg i. Br.

Thermische Solarenergie für die Gebäudeklimatisierung

Seit rund einem Jahr wird am technologieorientierten Gründerzentrum des Landkreises Riesa/Grossenhain eine sorptionsgestützte Klimatisierungsanlage betrieben, die thermisch an ein Solarsystem angeschlossen ist. In diesem Beitrag werden einige grundlegende Anmerkungen zum Thema «solarthermische Gebäudeklimatisierung» gemacht und deren Techniken, Potential und Wirtschaftlichkeit erörtert.

Das heute dominierende Anwendungsfeld für die Nutzung thermischer Solarenergie ist die Brauchwasser-Erwärmung. Parallel dazu entwickeln sich neue Anwendungsfelder im Gebäudebereich, die prinzipiell ein noch grösseres Potential aufweisen.

Einerseits wird in zunehmendem Masse die solare Heizungsunterstützung zum Thema, wobei unterschiedliche Konzepte verfolgt werden. Die vorgeschlagenen Systeme reichen von Kombispeichern für Einfamilienhäuser bis hin zu Konzepten für Siedlungen mit zentralen Grossspeichern. Andererseits stellt in vielen Ländern - und zumindest im Nichtwohnungsbau auch in Mitteleuropa - die sommerliche Klimatisierung mit Solarenergie ein interessantes Anwendungsgebiet dar. In der jüngeren Vergangenheit wurden jedoch verschiedene Anlagen der solarunterstützten Klimatisierung realisiert und es laufen Vorbereitungen zu einem neuen internationalen Forschungsvorhaben unter dem Dach der Internationalen Energie-Agentur (IEA).

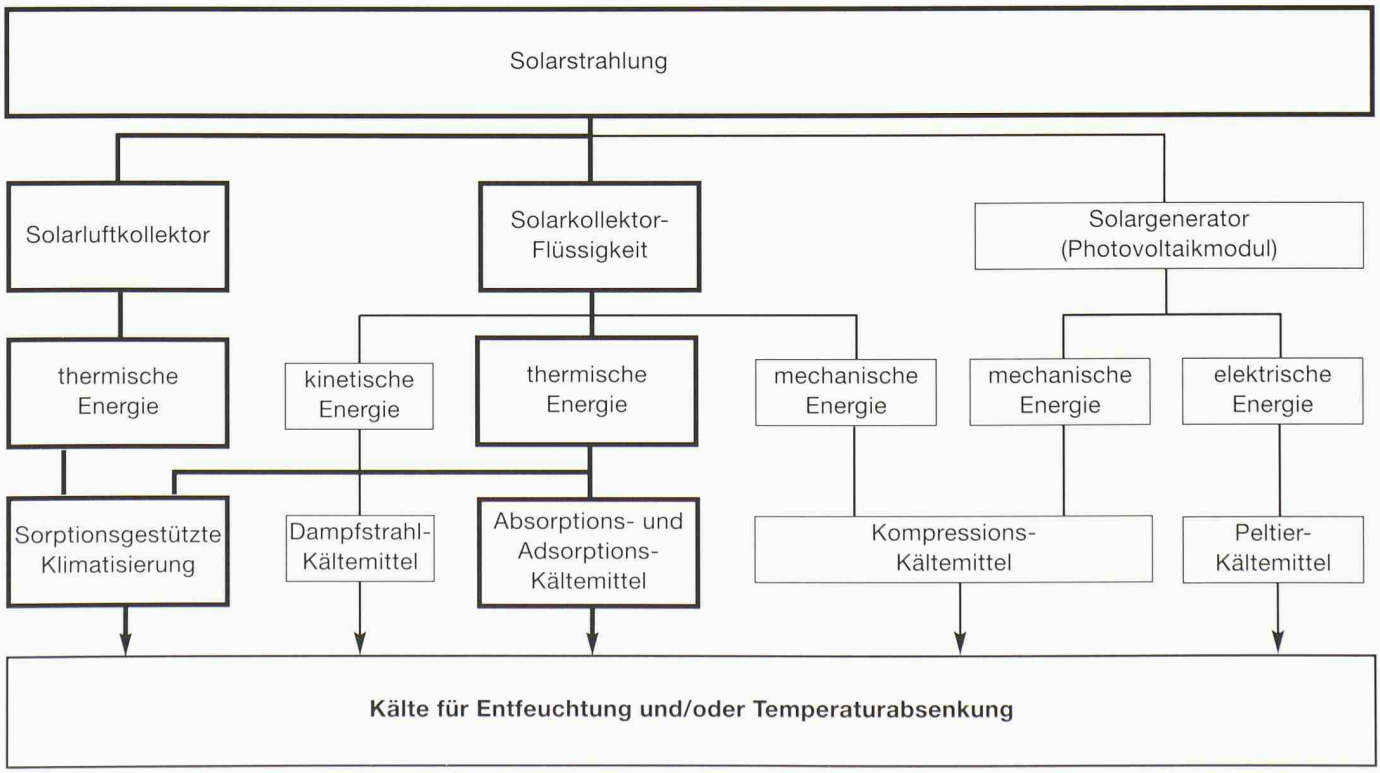
Verfügbare Techniken und Perspektiven

In Bild 1 sind verschiedene denkbare Verfahren zur Umwandlung von Solarstrahlung in Kälte dargestellt. Gegenstand dieses Artikels sind allerdings nur die thermischen Verfahren, denen Sorptionsprozesse zu Grunde liegen; diese Verfahren haben bislang die grösste technische Relevanz zum Einsatz für die sommerliche Gebäudeklimatisierung. Eine grobe Einteilung dieser Verfahren ist einerseits nach der Art der Prozessführung - offen oder geschlossen - und andererseits nach der Art der verwendeten Sorptionsmittel - fest oder flüssig - möglich. Einen Überblick gibt Bild 2. Neben der Antriebstemperatur und der verfügbaren Kälteleistung ist eine wesentliche Charaktersierungsgrösse von Sorptionskälte-Prozessen das Wärmeverhältnis (engl. COP: Coefficient of Performance), das die pro Einheit Antriebswärme erzielte Kälteenergie angibt.

Im Folgenden sollen die Verfahren in Kürze im einzelnen beschrieben werden; eine detaillierte Beschreibung erfolgt in der Fachliteratur [2, 3].

Bei den geschlossenen Verfahren mit festem Sorptionsmittel ist ein quasi-kontinuierlicher Betrieb nur durch die Verwendung von mindestens zwei parallel betriebenen Sorptionsbehältern möglich. Das Schema einer marktverfügbaren Anlage aus japanischer Fertigung zeigt Bild 3. Diese Anlage, die mit dem Stoffsystem Silikagel-Wasser arbeitet, besteht aus zwei Adsorbern, einem Verdampfer und einem Kondensator. Während die eine Sorptionskammer durch Heisswasser regeneriert wird (d.h. das am Silikagel gebundene Wasser wird desorbiert), nimmt die andere Kammer den im Verdampfer in die Gas-

1
Verfahren zur Kälteerzeugung aus Solarstrahlung (nach [1]). Die in diesem Beitrag diskutierten thermischen Verfahren sind fett markiert



SFK	0	0,3	0,5	0,7	0,9
			Kopenhagen		
ABV	5,2*	8,9	10,5	12,7	16,1
ADV	18,9*	22,5*	23,9	26,0	30,0
ADF	18,9*	21,1	21,6	23,0	26,5
SGKF	7,2*	10,3*	11,5	12,7	14,9
SGKL	7,2*	11,2*	13,2	16,7	22,5
			Freiburg		
ABV	5,8*	10,9	13,6	16,5	24,8
ADV	19,0*	23,8*	26,2	29,0	37,7
ADF	19,0*	21,5	23,3	25,7	32,9
SGKF	6,1*	9,0	10,2	12,1	15,3
SGKL	6,1*	9,9	12,2	16,0	35,4
			Trapani (Sizilien)		
ABV	4,2*	7,9*	10,3	13,3	18,1
ADV	12,0*	15,3*	17,4	20,2	25,0
ADF	12,0*	13,6*	14,7	16,1	19,4
SGKF	3,8	5,6	6,2	6,9	8,5
SGKL	3,8	5,9	6,7	7,7	9,8

2
Tabelle zur Klassifizierung thermisch angetriebener Kühlverfahren für die Gebäudeklimatisierung

phase überführten Wasserdampf auf. Die dabei frei werdende Sorptionswärme muss ebenso wie die Wärme des kondensierenden Desorbats abgeführt werden. Eine Pilotanlage zur Untersuchung der Eignung des solarthermischen Antriebs dieser Kältetechnik wird derzeit am Universitätsklinikum Freiburg aufgebaut und vom Fraunhofer ISE wissenschaftlich begleitet; ein Laborgebäude soll so mit solar erzeugter Kälte versorgt werden [4] (Bild 3).

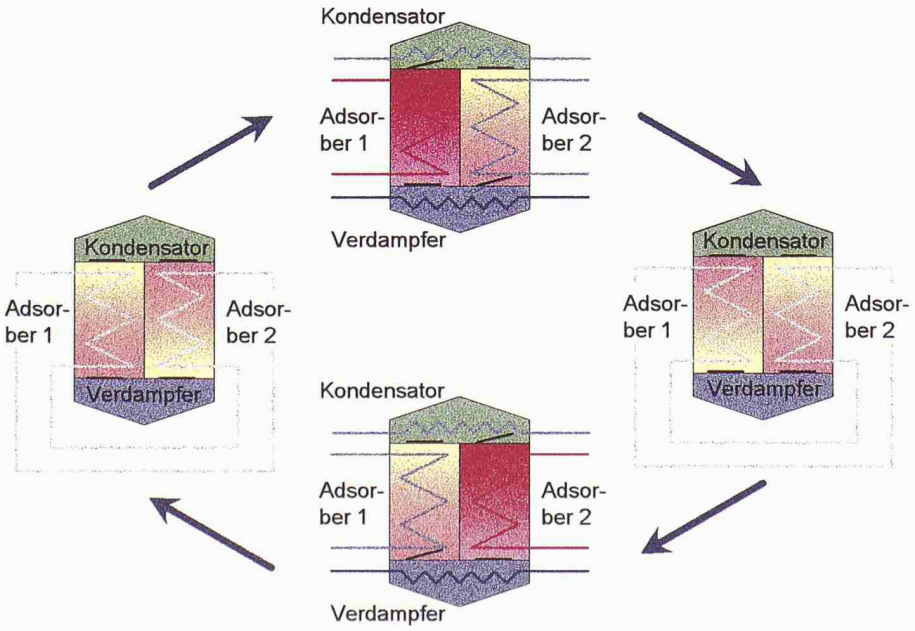
Geschlossene Kältemaschinen mit flüssigem Sorptionsmittel sind in einem breiten Leistungsbereich und in unterschiedlichen Bauformen verfügbar. Die Hauptanwendung liegt im Betrieb in Kombination mit Wärme-Kraft-Kopplung (Blockheizkraftwerk; Fernwärme). Für die Klimatisierung werden in aller Regel Anlagen mit Wasser-LiBr eingesetzt. Neben den einstufigen Maschinen sind auch zweistufige Anlagen erhältlich, die höhere Antriebstemperaturen benötigen (zweistufig: 150-160 °C), damit jedoch höhere Wärmeverhältnisse erreichen (etwa 1,1-1,2). Ein bekanntes Beispiel einer solaren Klimatisierung mit Absorptionskälteanlage und Vakuum-Röhren-Kollektoren ist das Hotel Belroy in Benidorm [5].

Das Verfahren der sorptionsgestützten Klimatisierung (SGK) (engl. desiccant cooling, DEC) ist in der Literatur seit vielen Jahren bekannt. In Europa wurde es dennoch erst in den vergangenen zehn Jahren zunehmend angewendet. Wie bei thermisch angetriebenen Kältemaschinen insgesamt lieferte die FCKW-Problematik konventioneller Kältetechnik ein wichtiges Argument für den Einsatz. Derzeit sind überwiegend Anlagen mit rotierenden Sorptionsrädern im Einsatz; es sind aber auch Anlagen mit periodisch geschalteten Festbettspeichern erhältlich. Die Verfahren mit flüssigen Sorptionsmitteln befinden sich dagegen noch in der Entwicklung. Eine Vermarktung innerhalb weniger Jahre wird angestrebt.

Bei allen genannten marktverfügbaren Techniken sind Verbesserungen denkbar, die die Einsatzmöglichkeiten generell wie auch in Verbindung mit Solartechnik verbessern können. Bei den Absorptionskältemaschinen sind insbesondere grössere Temperaturspreizungen auf der Seite des Heizmediums sowie insgesamt niedrigere Antriebstemperaturen wünschenswert. Eine Entwicklung in diese Richtung ist zum Beispiel die sogenannte single-effect/double-lift-Maschine (SEDL) [6]. Adsorptionskältemaschinen sind derzeit zu gross und zu schwer, um wirklich konkurrenzfähig zu sein; hier sind Verbesserungen möglich und wünschenswert. Bei der sorptionsgestützten Klimatisierungstechnik sind Schaltungsvarianten für den optimierten Solareinsatz und für Klimata mit hohen Luftfeuchten zu entwickeln. Daneben sind neue Systemkonzepte z.B. im Verbund mit Solarluftkollektoren eine interessante Option [7].

Insgesamt gilt, dass Klimatisierungsanlagen mit Solarenergie einen vergleichsweise hohen Aufwand für Regelungstechnik aufweisen, da zusätzlich zu den Kontrollgrössen Temperatur und Feuchte noch schwankende Grössen (Temperatur, Leistung) auf der Erzeugerseite auftreten.

3
Arbeitszyklus einer Adsorptionskältemaschine (im Uhrzeigersinn):
Phase 1: Adsorption Adsorber 1, Desorption Adsorber 2, Phase 2: Umschalten mit WRG
Phase 3: Desorption Adsorber 1, Adsorption Adsorber 2, Phase 4: Umschalten mit WRG



Das Potential solarer Klimatisierung

Ein wichtiges Argument, das im Zusammenhang mit der Nutzung der Solarenergie für die sommerliche Gebäudeklimatisierung vielfach angeführt wird, ist die weitgehende Zeitgleichheit zwischen

Zusammenhang zwischen solar verfügbarer Kälte und benötigter Kälte

Die aufgrund der aktuell verfügbaren Einstrahlung G erzielte Kälteleistung $P_{Kälte,sol}$ ergibt sich aus dem Produkt aus der Einstrahlung G, dem Kollektorwirkungsgrad h_{koll}, der Kollektorfläche A_{koll} und dem Umwandlungswirkungsgrad COP der Kälteanlage:

$$P_{Kälte,sol} = \eta_{koll} \times A_{koll} \times COP \times G$$

Der Kollektorwirkungsgrad kann in Abhängigkeit der Aussentemperatur T_U, der Betriebstemperatur der Kälteanlage T_{op} und der Einstrahlung G errechnet werden(siehe [12]):

$$\eta_{koll} = c_0 - c_1 \times \frac{\Delta T}{G} - c_2 \times \frac{(\Delta T)^2}{G}$$

mit: $\Delta T = T_{op} - T_U$

Die Kälteleistung der Kälteanlage ist in der Regel nicht gleich der abzuführenden Kühllast. Je nach eingesetzter raumlufttechnischer Anlage (RLT-Anlage) ist die benötigte Kälteleistung gleich oder grösser als die abzuführende Kühllast. Für diese Umwandlung ist demnach ein Wirkungsgrad anzusetzen, der stark von dem eingesetzten Verfahren abhängt (z.B. reines Luft-System, reine statische Kühlflächen, kombinierte Systeme, Entfeuchtung durch Taupunktunterschreitung oder sorptiv usw.). Die Effizienz dieser Umwandlung kann durch einen weiteren Faktor h_{RLT} berücksichtigt werden. Wird $P_{kälte,sol}$ zusätzlich durch die Raumfläche dividiert, so erhält man die spezifische, aufgrund der aktuell verfügbaren Einstrahlung G abführbare Kühllast $P_{Last,\,sol}$:

$$P_{Last,\,sol} = A_{spez} \times \eta_{koll} \times COP \times \eta_{RLT} \times G$$

mit der spezifischen Kollektorfläche

$$A_{spez} = \frac{A_{kol}}{A_{Raum}}$$

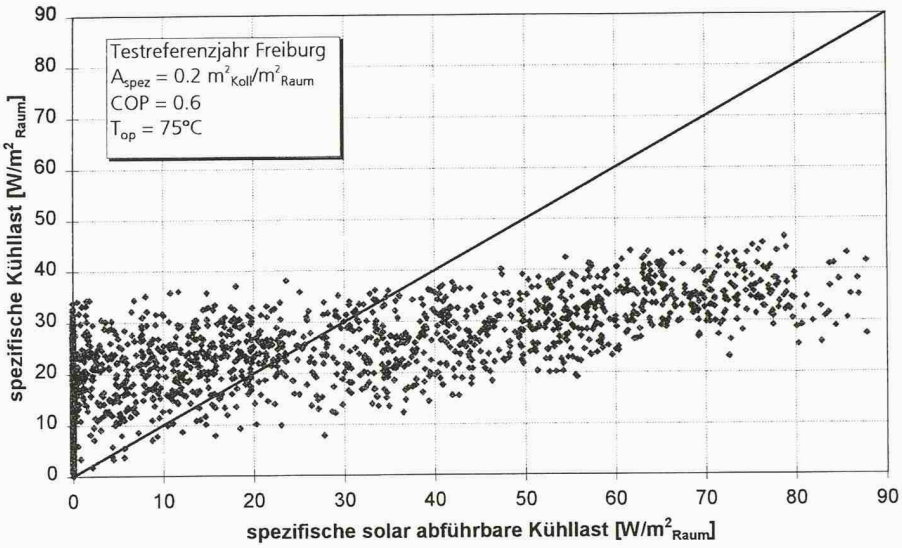
Diese Grösse ist in Bild 4 auf der x-Achse angegeben, wobei der Wirkungsgrad für die Umsetzung der Kälteleistung in Kühllastabfuhr, h_{RLT}, auf konstant 1 gesetzt wurde.

Für Punkte auf der Winkelhalbierenden ist die abzuführende, spezifische Kühllast P_{Last} gleich der spezifischen, solar abführbaren Kühllast $P_{Last,sol}$:

$$P_{Last} = P_{Last,sol}$$

Kühllasten und Solargewinnen. In einer Studie am Fraunhofer ISE wurde auf der Basis eines einfachen stationären Bilanzverfahrens das Potential der Solarenergienutzung für die sommerliche Gebäudeklimatisierung abgeschätzt. Einige Ergebnisse werden beispielhaft vorgestellt.

Bild 4 zeigt beispielhaft die abzuführende Kühllast für ein typisches südorientiertes Bürogebäude (Standort Freiburg, Daten Test-Referenzjahr), aufgetragen gegenüber der Kühllast, die aufgrund der aktuell verfügbaren Einstrahlung abgeführt



4
Spezifische Kühllast eines nach Süden ausgerichteten Bürogebäudes in Freiburg, aufgetragen über der spezifischen, aufgrund der aktuell verfügbaren Einstrahlung G abführbaren Kühllast bei Einsatz eines Vakuum-Röhren-Kollektors und einer Adsorptionskältemaschine

werden kann. Die Kühllast wurde entsprechend DIN 1946, Teil 2 ermittelt und es wurde die Forderung nach strenger Einhaltung des Raumkomforts angenommen. Jeder Punkt entspricht Stundenmittelwerten der jeweiligen Grössen. (Im Kasten ist der Zusammenhang in Formeln beschrieben).

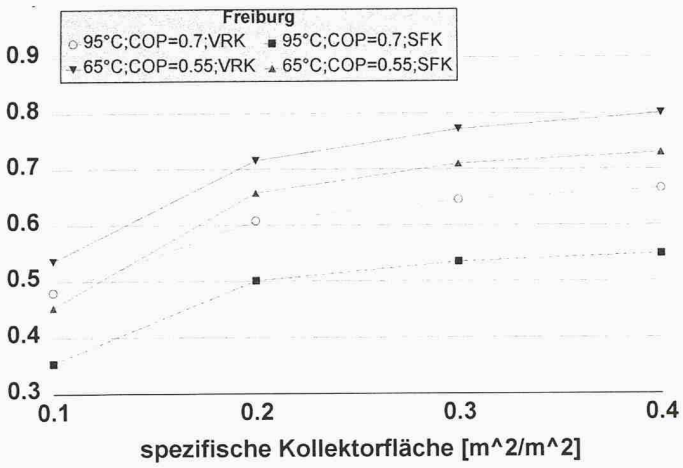
Für Punkte oberhalb der Winkelhalbierenden gilt, dass die abzuführende Kühllast grösser ist, als die auf Grund der Einstrahlung abführbare (Unterdeckung). Für Punkte unterhalb übertrifft die «solar» abführbare Kühllast die tatsächlich abzuführende Kälte (Überdeckung). Eine handhabbare Grösse zur Auslegung ist die spezifische Kollektorfläche, d.h. das Verhältnis aus Kollektorfläche (Absorberfläche) und Raumfläche. In Bild 4 beträgt die spezifische Kollektorfläche 0,2 m^2/m^2. Es zeigt sich eine prinzipielle Korrelation zwischen Solargewinnen und Kühllasten, wobei im Einzelfall durchaus eine deutliche Abweichung auftreten kann. Ausserdem liegt die Korrelation bei diesem Wert der spezifischen Kollektorfläche nicht parallel zur Winkelhalbierenden. Eine einfache Bilanzierung der Energien erlaubt die Errechnung des solaren Deckungsanteils an der zum Antrieb des Klimatisierungsverfahrens benötigten Wärme. Der solare Deckungsanteil im Beispiel aus Bild 4 beträgt 68 %.

Eine Vielzahl von Einflussgrössen bestimmt, welcher solare Deckungsanteil im Einzelfall erreicht werden kann:

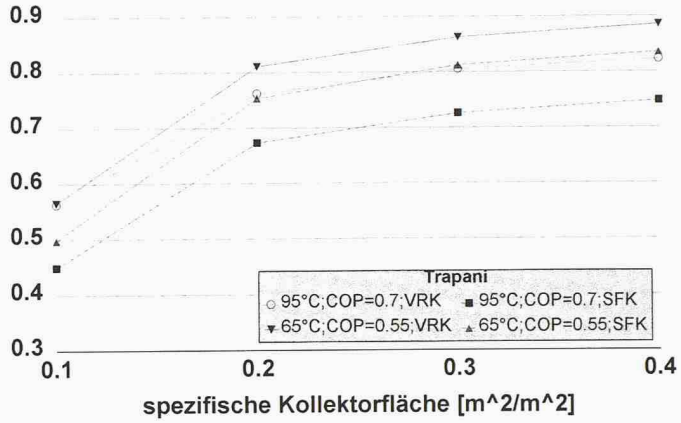
- die Kühllast (Gebäudeart und -nutzung, geforderte Raumluftbedingungen),
- der verwendete Solarkollektor (z.B. Vakuum-Röhren-Kollektor, Flachkollektor),
- der Standort,
- das verwendete Kühl- bzw. Klimatisierungsverfahren (Antriebstemperatur, COP), sowie
- die Kollektorgrösse (z.B. ausgedrückt in der spez. Kollektorfläche).

In den Bildern 5 und 6 sind für zwei unterschiedliche Standorte und vier unterschiedliche Systemkonfigurationen die solaren Deckungsanteile als Funktion der spez. Kollektorfläche dargestellt. In Freiburg beträgt die Kühllast für das Beispielgebäude im betrachteten Zeitraum (Mai bis Oktober) rund 42 kWh pro m^2 Raumfläche und die Einstrahlung im gleichen Zeitraum 816 kWh pro m^2 Kollektorfläche (Trapani, Sizilien: 70 kWh/m^2 Kühllast, 122 kWh/m^2 solare Einstrahlung auf Kollektor). Die Bilder machen deutlich:

- Die Verwendung einer Absorptionskältemaschine setzt die Verwendung eines Vakuum-Röhren-Kollektors voraus, um zu nennenswerten solaren Deckungsanteilen zu gelangen.
- Die höchsten solaren Deckungsanteile werden mit einer Adsorptionskältemaschine und bei Verwendung eines Vakuum-Röhren-Kollektors erzielt.
- Aus Kostengründen sollten im Verbund mit einer Adsorptionskältemaschine aber eher Flachkollektoren mit selektiver Be-



5
Solarer Deckungsanteil für Kühlung für unterschiedliche Systemkonfigurationen in Freiburg:
Absorptionskältemaschine (95 °C, COP 0.7) mit Vakuum-Röhren-Kollektor:
Absorptionskältemaschine (95 °C, COP 0.7) mit selektivem Flachkollektor.
Adsorptionskältemaschine (65 °C, COP 0.55) mit Vakuum-Röhren-Kollektor.
Adsorptionskältemaschine (65 °C, COP 0.55) mit selektivem Flachkollektor



6
Solarer Deckungsanteil für Kühlung für unterschiedliche Systemkonfigurationen in Trapani (Sizilien). Beschreibung siehe Bild 3

schichtung verwendet werden; verglichen mit Vakuum-Röhren-Kollektoren liegen die solaren Deckungsanteile nur um rund 6-8% niedriger als bei Verwendung von Vakuum-Röhren-Kollektoren.

- Eine sinnvolle Grösse der spezifischen Kollektorfläche A_{spez} liegt bei etwa 0,2-0,3 m^2/m^2.

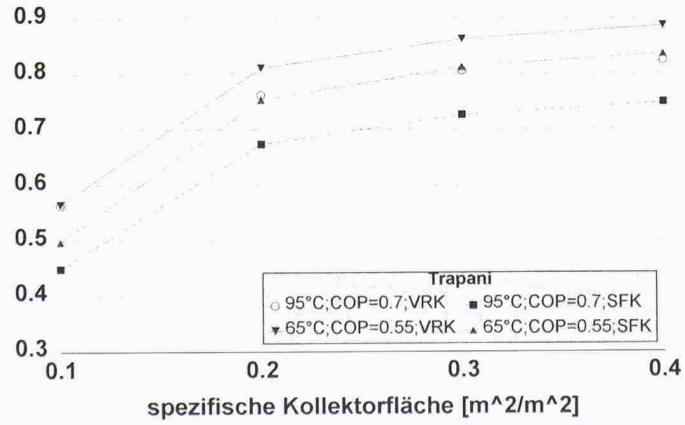
Bild 4 legt nahe, dass der Einsatz eines Pufferspeichers eine Erhöhung des solaren Deckungsanteils bewirken kann, da in etlichen Stunden die angebotene Solarenergie nicht genutzt werden kann. Durch eine Erweiterung des oben beschriebenen Modells kann der Einfluss eines Pufferspeichers berücksichtigt werden. Bild 7 stellt die Verhältnisse für den Standort Freiburg i. Br. beispielhaft dar.

Das Bild zeigt, dass bei spezifischen Kollektorflächen von 0,2 m^2/m^2 und darüber der Einsatz eines Pufferspeichers zu Verbesserungen im solaren Deckungsanteil von rund 5-6% führt, wenn pro m^2 Raumfläche ein Speichervolumen von 30 l vorgesehen wird. Zusammenfassend zeigt die dargestellte, einfache Betrachtung auf der Basis von Zeitreihen, dass

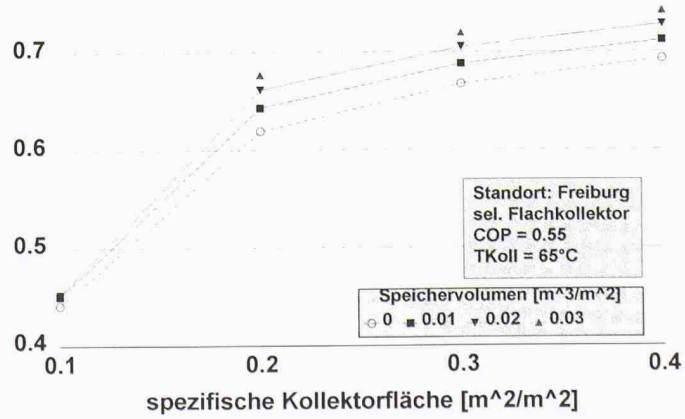
- bei Gebäudeklimatisierung mit thermischer Solarenergie solare Deckungsanteile von 70-80% möglich sind, ohne den Kollektor stark über zu dimensionieren,
- spezifische Kollektorflächen von rund 0,2-0,3 m^2 pro m^2 Gebäudefläche benötigt werden
- der Einsatz von thermischen Pufferspeichern in der Grössenordnung von rund 30 l pro m^2 Raumfläche sinnvoll ist.

Es ist zu beachten, dass die genannten Grössen nur für einen Umwandlungs-

7
Einfluss des Volumens eines wärmeseitigen Pufferspeichers (m^3 pro m^2 Raumfläche) auf den solaren Deckungsanteil für Kühlung



8
Primärenergiebedarf für ganzjährige Klimatisierung (Heizen und Kühlen) für verschiedene Systeme im Vergleich mit einem Referenzsystem (Lüftungssystem mit Kompressionskältemaschine und Lüftungswärmerückgewinnung). Es bedeuten: Abs: Absorptionskälteanlage, Ads: Adsorptionskälteanlage, SGK: sorptionsgestützte Klimatisierung, VRK: Vakuum-Röhren-Kollektor, SFK: selektiver Flachkollektor

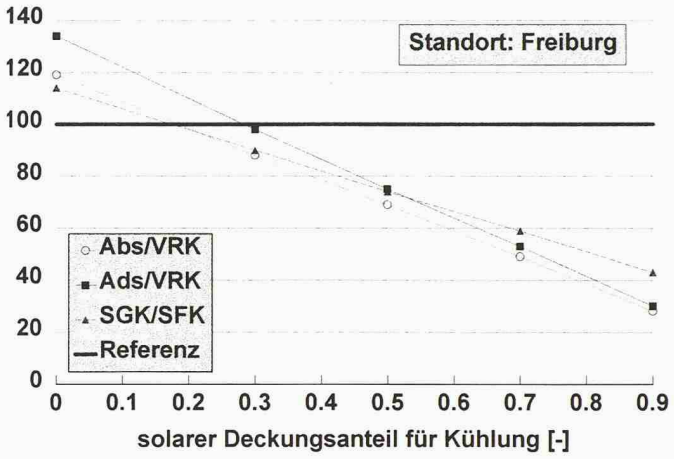


faktor zwischen Kälteleistung und abgeführter Kühllast, h_{RLT}, von 1 gelten. Eine Dimensionierung nach diesem Verfahren kann deshalb keine detaillierte Auslegung im Einzelfall ersetzen, bei der konkret die eingesetzte raumlufttechnische Anlage berücksichtigt wird.

Primärenergie-Ersparnis und Wirtschaftlichkeit

Im Rahmen einer Studie zur Vorbereitung einer neuen «Task» [8] im Rahmen der «Solar Heating & Cooling Programme» der Internationalen Energie Agentur IEA wurde eine Wirtschaftlichkeitsstudie zur solaren Klimatisierung durchgeführt. Es wurden nur marktverfügbare Techniken betrachtet und mit einer üblichen konventionellen Referenzanlage verglichen. Die Rechnungen basieren auf einem Referenzbürogebäude [9] mit einer Fläche von 400 m². Sämtliche Annahmen, die in die Rechnung eingehen, wie Kostenkurven der Komponenten, Energiepreis-Struktur usw. sind in [10, 11] nachzulesen. Die Regelung der raumlufttechnischen Anlage wurde wieder nach DIN 1946 Teil 2 angenommen mit einer strengen Einhaltung des Raumkomforts. Zunächst wird beispielhaft der Primärenergieverbrauch der verglichenen Verfahren dargestellt und anschliessend eine einfache statische Amortisationszeit für die verschiedenen Verfahren und verschiedene Standorte angegeben.

Bild 8 zeigt, dass die Verwendung thermisch angetriebener Klimatisierungsverfahren bei ausschliesslicher Verwendung von fossilen Brennstoffen (z.B. Erdgas) zu keinen primärenergetischen Vorteilen gegenüber konventionellen Referenzanlagen führt. Als konventionelles Vergleichssystem wurde ein Lüftungssystem mit Kompressionskältemaschine und Lüftungswärmerückgewinnung angenommen. Demnach muss bei Verwendung von thermischer Solarenergie zum Antrieb der Kälteanlagen ein solarer Deckungsanteil von mindestens 20% (Absorption und sorptionsgestützte Klimatisierung) bzw. 30% (Adsorption) erreicht werden, um eine Primärenergie-Ersparnis zu bewirken. Bei solaren Deckungsanteilen von 90% für die zum Antrieb der Kälteanlage aufzubringende Wärme sind Einsparungen von 60% (sorptionsgestützte Klimatisierung) bis 70% (Absorption, Adsorption) im jährlichen Primärenergiebedarf möglich. In Bild 9 sind statische Amortisationszeiten für die verglichenen Systeme an verschiedenen Standorten angegeben. Die Rechnungen führen zu folgenden Ergebnissen:



9
Statische Amortisationszeit der untersuchten Systeme (alle Resultate gelten für ein Pufferspeichervolumen von 10 m³). Es bedeuten: SFK: Solarer Deckungsanteil für Kühlung; ABV: Absorptionskälte mit Vakuum-Röhren-Kollektor; ADV: Adsorptionskälte mit Vakuum-Röhren-Kollektor; ADF: Absorptionskälte mit Flachkollektor (flüssig gekühlt); SGKF: sorptionsgestützte Klimatisierung mit Flachkollektor (flüssig gekühlt); SGKL: sorptionsgestützte Klimatisierung mit Solarluftkollektor; mit * markierte Systeme führen zu keiner Primärenergieersparnis. Die Regelung erfolgte entsprechend DIN 1946 Teil 2 (strenge Einhaltung des Raumluftkomforts)

- Die längste Amortisationszeit ergibt sich für Adsorptionskältemaschinen; Grund sind die noch hohen Kosten für diese Kältetechnik.
- Insgesamt liegen sämtliche Werte nicht höher als diejenigen für kleine solare Brauchwasseranlagen (typische Anlagen für Einfamilienhäuser).
- Die günstigsten Bedingungen ergeben sich an allen Standorten für sorptionsgestützte Klimatisierungstechnik im Verbund mit thermischer Solarenergie.
- Die günstigsten Bedingungen insgesamt ergeben sich für sorptionsgestützte Klimatisierung in Trapani, wobei der Unterschied zwischen Flüssigkollektoren und Solarluftkollektoren nur gering ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Solare Klimatisierung stellt neben der Brauchwasser-Erwärmung und der teilsolaren Raumheizung ein weiteres wichtiges Anwendungsfeld der thermischen Solarenergienutzung im Gebäudebereich dar. Es sind einige verschiedene Techniken marktverfügbar. Allerdings sind nur wenig Erfahrungen in der Auslegung und dem Betrieb solcher Anlagen verfügbar. Es liegen noch keine ausgereiften, nutzerfreundlichen Auslegungswerkzeuge für Planungsbüros vor. Bislang werden Anlagen in der Regel im Rahmen von geförderten Demonstrationsvorhaben ausgeführt; für solar unterstützte Anlagen der sorptionsgestützten Klimatisierung wurden am Fraunhofer ISE im Rahmen solcher Projekte Auslegungs- und Simulationswerkzeuge unterschiedlichen Detaillierungsgrades entwickelt. Auch im Bereich der möglichen Technologien sind noch Verbesserungen möglich, wie die Vorbereitungsphase der neuen «task» im Rahmen des IEA «Solar Heating & Cooling Programme» gezeigt hat. Die neue «IEA-task» (die vom Fraunhofer ISE federführend vorbereitet wurde und geleitet werden wird) stellt deshalb eine hervorragende Möglichkeit dar, diese zukunftsweisende Solarenergieanwendung im Rahmen eines internationalen Verbundprojektes zu entwickeln und in den Markt einzuführen.

Typische benötigte Kollektorflächen liegen im Bereich von 0,2–0,3 m² Kollektor (Absorber) pro m² Raumfläche; damit sind solare Deckungsanteile von rund 70–80% errreichbar. Niedrigere solare Deckungsanteile sind nicht sinnvoll, da sie zu keinen oder nur geringen primärenergetischen Vorteilen verglichen mit konventionellen Anlagen führen. Was die Wirtschaftlichkeit betrifft, sind die Ergebnisse für die sorptionsgestützte Klimatisierung am vielversprechendsten. Insbesondere für Bedingungen in Südeuropa sind Amortisationszeiten deutlich unterhalb von zehn Jahren bei gleichzeitig hohen Primärenergie-Ersparnissen möglich. In allen Aussagen über die Auslegung und Wirtschatlichkeit

in diesem Artikel wurde generell davon ausgegangen, dass die entsprechend der gültigen Normen (DIN 1946 Teil 2) definierten Raumluftzustände streng eingehalten werden müssen. Ob dies erforderlich ist, hängt vom Nutzer ab. Wird eine gewisse Abweichung in Einzelfällen akzeptiert, so kann der solare Deckungsanteil durchaus höher ausfallen. Insbesondere sind dann unter Umständen auch solar autarke Systeme denkbar, die zu deutlich kostengünstigeren Lösungen führen. Solche Systeme sind nicht durch den solaren Deckungsanteil zu bewerten, sondern durch die Angabe der Zeiten, an denen normgemässe Raumluftfeuchten und -temperaturen nicht eingehalten werden können.

Adresse der Verfasser:
Hans-Martin Henning, Dr., Leiter der Gruppe «Aktive Thermische Systeme» am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg i. Br.; *Carsten Hindenburg*, Dipl.-Ing., Mitarbeiter der Abteilung «Thermische und Optische Systeme» am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Ise, Freiburg i. Br., Oltmannsstr. 5, D-79100 Freiburg i. Br.

Literatur

[1]
Hindenburg C.: Untersuchung des Einsatzes von Systemsimulationen mit Solarluftkollektoren in sorptionsgestützten Klimatisierungssystemen auf der Basis von TRNSYS. Diplomarbeit TU Hamburg-Harburg, Fraunhofer ISE. Februar 1998

[2]
Henning H.-M.: Aktive solarthermische Systeme für die Gebäudeklimatisierung. Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden (Hrsg. Marko Braun), Springer-Verlag 1997

[3]
Loewer H. (Hrsg.): Absorptionswärmepumpen. C.F. Müller Verlag, Karlsruhe, 1987

[4]
Kärn W., Glaser H.: Solare Kühlung mit einer Adsorptionskälteanlage und Solarkollektoren am Klinikum Freiburg. BMBF-Statusseminar «Solar optimiertes Bauen», 27.-28. August 1998, Freiburg i. Br.

[5]
Hansen Ch.: Solare Klimatisierung, Beispiel in Benidorm, Spanien. Sonnenenergie 2/93

[6]
Ziegler F.: Entwicklungstendenzen bei Absorptionskälteanlagen. VDI-Berichte Nr. 1432, 1998

[7]
Hindenburg C., Henning H.-M., Schmitz G.: Einsatz von Solarluftkollektoren in sorptionsgestützten Klimatisierungssystemen. Achtes Symposium thermische Solarenergie. Otti, Staffelstein. Mai 1998

[8]
Henning H.-M., Franzke U.: Solar Assisted Cooling Systems for Air Conditioning of Buildings - Koordination der «Project Definition Phase» im Rahmen des «Solar Heating & Cooling Programm» der Internationalen Energie-Agentur (IEA). BMBF-Statusseminar «Solar optimiertes Bauen», 27./28. August 1998, Freiburg

[9]
Franzke U., Seifert C.: Stille Kühlung. Bericht zum BMFT-Forschungsvorhaben ILK-B-4/95-2469, Institut für Luft- und Kältetechnik, 1995

[10]
Henning H.-M., Erpenbeck Th., Hindenburg C., Paulussen S.: Solar Cooling of Buildings - possible techniques, potential and international development. EuroSun '98, Portoroz, Slovenia

[11]
Henning H.-M., Erpenbeck Th., Hindenburg C, Santamaria I. S.: The potential of solar energy use in desiccant cooling cycles. Submitted to: International Sorption Heat Pump Conference, Munich, Germany, 1999

[12]
Frei U. et. al: Leistungsdaten Thermischer Sonnenkollektoren. Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle Technikum Rapperswil, Rapperswil, 1991