

## **Brennstoffzelle, Kälteanlage und Solartechnik im Malteser-Krankenhaus Kamenz: Anlagenbeschreibung und Betriebserfahrungen**

**Dr.- Ing. Andreas Gassel, TU Dresden, Institut für Thermodynamik und TGA**

**Dr.- Ing. Karin Rühling, TU Dresden, Institut für Energietechnik**

**Dr.- Ing. Peter Seifert, DBI Gas- und Umwelttechnik, Freiberg**

**Tel.: 0351/4633423, Fax: 0351/4637105**

**mail: gassel@mtnv01.mw.tu-dresden.de**

### **Zusammenfassung**

Dieser Beitrag beschreibt Aufbau und Betriebsergebnisse einer Anlage der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung in einem Krankenhaus. Das neuerrichtete Malteser-Krankenhaus in Kamenz wurde mit einer Brennstoffzelle, einer Adsorptionskälteanlage, einem Sonnenkollektorfeld sowie einer Kompressionskältemaschine mit Eisspeicher ausgestattet. Die Anlage ist mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet.

### **Motivation**

Krankenhäuser benötigen viel Strom, Wärme und Kälte. Der Verbrauch ist deutlich kontinuierlicher als in Immobilien vergleichbarer Größe aber anderer Nutzung, wie modernen Bürogebäuden. Beides legt die gekoppelte Erzeugung aller drei Energiearten nahe. In modernen Energieanlagen von Krankenhäusern werden daher Blockheizkraftwerke mit Gasmotoren in Verbindung mit Adsorptionskältemaschinen eingesetzt.

Eine andere Kombination besteht aus einer Adsorptionskältemaschine mit dem Stoffpaar  $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$  und einer Brennstoffzelle. Diese Variante bietet Vorteile bei Betriebsverhalten, Energieverbrauch und Emissionen. Ein solches System, ergänzt um Solaranlage, Spitzenlast-KKM sowie mehrere Speicher wurde im Krankenhaus Kamenz installiert und befindet sich seit dem 1. August 2000 im Regelbetrieb. Während jede Komponente allein bereits in mehreren Anlagen in Betrieb ist - oft jedoch mit verbesserungsbedürftigem Betriebsverhalten - ist die Kombination dieser Komponenten völlig neu. Die Anlage in Kamenz übernimmt zum einen die reguläre Versorgung des Gebäudes und ist andererseits Gegenstand eines Forschungsvorhabens, in dem Erkenntnisse zur optimalen Betriebsführung sowie zur Auslegung weiterer Anlagen ähnlicher Art gewonnen werden.

## Projektpartner

Das Vorhaben unter dem Titel "Rationelle Strom-, Wärme- und Kälteversorgung eines Krankenhauses in Kamenz" wird von einem Konsortium, bestehend aus der DBI Gas- und Umwelttechnik Freiberg, der GASTEC N. V. Apeldoorn (Niederlande) sowie dem Institut für Energietechnik und dem Institut für Thermodynamik und TGA der TU Dresden durchgeführt.

Das Projekt wurde durch die Europäische Union im Rahmen des Programms "Thermie" gefördert (EU-Projekt Nummer: BU/0065/97). Weitere Fördermittel bzw. Sponsorgelder kamen von folgenden Firmen und Institutionen:

- Freistaat Sachsen
- Malteser-Betriebsträger-Gesellschaft
- Verbundnetz Gas AG
- Thyssengas GmbH
- Gasversorgung Sachsen Ost GmbH

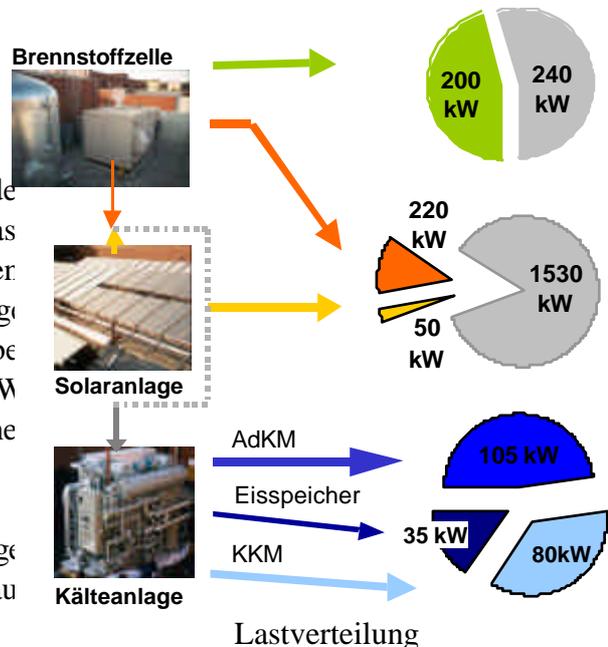
## Anlagendaten

Die Planungen für die Energieversorgung des Krankenhauses Kamenz gingen von folgenden Anschlusswerten für die Energieversorgung aus:

- 1,8 MW Wärme
- 440 kW Elektroenergie
- 220 kW Kälte

Der Bedarf an Kälte wird vollständig und der Bedarf an Wärme und Strom in der Grundlast von der im Rahmen des beschriebenen Forschungsvorhabens errichteten Anlage gedeckt. Die Spitzenlast wird durch zwei gasbeheizte Niedertemperaturkessel von je 900 kW Wärmeleistung sowie aus dem öffentlichen Stromnetz gedeckt.

Der im folgenden als "innovative Anlage" bezeichnete Forschungsgegenstand besteht aus folgenden Komponenten:



Komponente	Technische Daten		Hersteller
Brennstoffzelle Typ: PC 25 C Elektrolyt: H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	200 kW	Elektrische Leistung	ONSI (USA)
	110 kW	Wärmeleistung HT	
	100 kW	Wärmeleistung NT	
Kühlmodul der BZ	250 kW	Rückkühlleistung	
Adsorptions-Kältemaschine	105 kW	Kälteleistung	Mayekawa (Japan)
Kompressions-Kältemaschine	80 kW	Kälteleistung	York
Rückkühlwerk	390 kW	Rückkühlleistung	BAC
Eisspeicher	390 kWh	Speicherkapazität	FAFCO
Wärmespeicher	20 m <sup>3</sup>	Speicherinhalt	FLAMCO/SOLVIS
Kältepuffer	1,5 m <sup>3</sup>	Speicherinhalt	
TWD-Kollektoren	115 m <sup>2</sup>	Installierte Fläche	SSL Eibau
Photovoltaik	15 m <sup>2</sup>	Installierte Fläche	SOLARWATT

Im Bild ist in der Mitte die Brennstoffzelle, rechts das Rückkühlwerk der Kälteanlage und links der Wärmespeicher zu sehen.

Während bei vergleichbaren Projekten die Komponenten oft aus reinen Forschungsgründen zusammengestellt wurden und sich in ihrer Funktion gegenseitig behindern, ist die innovative Anlage des Krankenhauses Kamenz mit dem Ziel der gegenseitigen optimalen Ergänzung aller Bestandteile ausgelegt worden. Hierbei mussten jedoch kleinere Kompromisse aus Kosten- und Platzgründen gemacht werden.



Foto des Freigeländes

Die Zusammenstellung und Auslegung basierte auf folgenden Überlegungen:

Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen werden üblicherweise für die Grundlastdeckung ausgelegt. Dieser von BHKW bekannte Grundsatz ist angesichts der enormen Investition bei Brennstoffzellen besonders wichtig. Die installierte Zelle deckt 12 % des Gesamtwärmebedarfs und 45 % des Spitzenstrombedarfs ab.

Die Größe des Sonnenkollektorfeldes orientierte sich an der verfügbaren Dachfläche des Technikgebäudes. Aus energetischer Sicht hätten auch bis zu 200 m<sup>2</sup> Kollektorfläche installiert werden können.

Die Brennstoffzelle liefert 110 kW Wärme auf einem für die Kältemaschine nutzbaren Temperaturniveau von bis zu 90 °C. Damit lassen sich etwa 70 kW Kälte erzeugen. Eine weitere Wärmemenge wird vom Kollektorfeld bereitgestellt. Hinzu kommt im Spitzenfall noch eine Entnahme aus dem in den verbrauchsarmen Nachtstunden aufgeladenen Wärmespeicher.

Ein zusätzlicher Wärmebezug aus dem Heizkessel ist nicht sinnvoll, da Sorptionswärmeerzeugung nur aus Abwärme und regenerativ erzeugter Wärme energetisch günstig ist. Der Auslegungsbereich der

Kältemaschine lag damit zwischen 90 und 130 kW. Das einzige Serienprodukt einer Adsorptionskältemaschine hat bei den verfügbaren Parametern eine Leistung von 105 kW.

Das Teilsystem Kompressions-Kältemaschine / Eisspeicher deckt den Spitzen-Kältebedarf. Hierbei wurde der Eisspeicher so konzipiert, dass die Kompressions-Kältemaschine in der Spitzenstromzeit tagsüber bis 14.00 Uhr nie und in der Zeit zwischen 14.00 und 22.00 Uhr nur an Tagen mit mehr als 30 °C Aussentemperatur arbeiten muss.

Die Eisspeicherladung erfolgt in der Schwachlastzeit von 22.00 bis 04.00 Uhr. Der Strom entstammt hierbei der Brennstoffzelle.

Der Wärmespeicher wurde so bemessen, dass auch am Tag des maximalen Kältebedarfs ein kontinuierlicher Betrieb der Adsorptionskältemaschine möglich ist.

Der kleine Kältepuffer von 1,5 m<sup>3</sup> Volumen gleicht lediglich die zyklusbedingten Temperaturschwankungen der Adsorptionskältemaschine aus. Er wurde so konzipiert, dass die Verweilzeit des Wassers bei etwas weniger als einem Betriebszyklus von 10 Minuten liegt.

Die Photovoltaik entspricht in der Energieerzeugung in den Grössenordnung dem Strombedarf der Pumpen der thermischen Solaranlage.

## **Vorstellung der Hauptkomponenten**

### **Brennstoffzelle**

Eine Brennstoffzelle, wie sie in Kamenz installiert wurde ist - äusserlich betrachtet - eine Anlage der Kraft-Wärme-Kopplung. Sie nimmt Erdgas auf und wandelt dessen chemische Energie in Strom und Wärme um. Damit ist eine Brennstoffzelle - entgegen einer oft zu hörenden Meinung - kein Element der regenerativen Energietechnik. Vielleicht kann sie in ferner Zukunft in eine noch aufzubauende solare Wasserstoffwirtschaft eingegliedert werden.

Momentan sind Brennstoffzellen ein Element der mit fossilen Energieträgern arbeitenden konventionellen Energietechnik. Sie bietet jedoch eine Vielzahl von Vorteilen:

1. Gegenüber der Stromerzeugung in Grosskraftwerken den Vorteil, dass die bei der Stromerzeugung unvermeidlich anfallende Abwärme nicht im Kühlturm verloren geht, sondern zur Wärme- und Kälteversorgung sinnvoll genutzt werden kann. Dies ist ein Vorteil, den sich die Zelle mit den Blockheizkraftwerken teilt.
2. Gegenüber den Blockheizkraftwerken bestehen folgende Vorteile:
  - Höherer elektrischer Wirkungsgrad
  - Besseres Teillastverhalten
  - Fast keine Sekundäremissionen (Staub, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>)
  - Leiser, da keine bewegten Teile
  - Schwingungsfrei

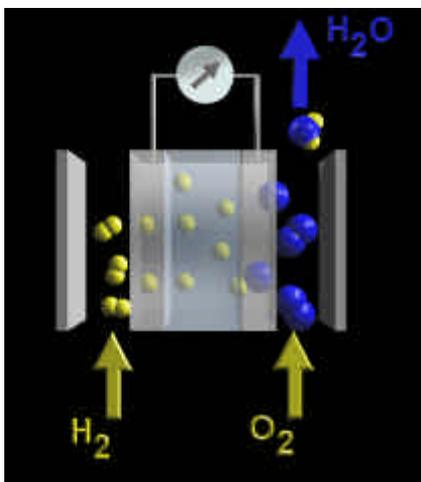
- Einfach installierbar
- Potenziell zuverlässig und wartungsarm
- Hohe Temperatur der Wärmebereitstellung (betrifft die Zelle in Kamenz nur teilweise)

Nachteile sind der gegenwärtig hohe Preis sowie je nach Verbrauchersituation die ungewöhnlich strengen Anforderungen an die Rücklauftemperatur der Wärmeverbraucher. Weiterhin ist zu beachten, dass Brennstoffzellen technisch noch nicht ausgereift sind.

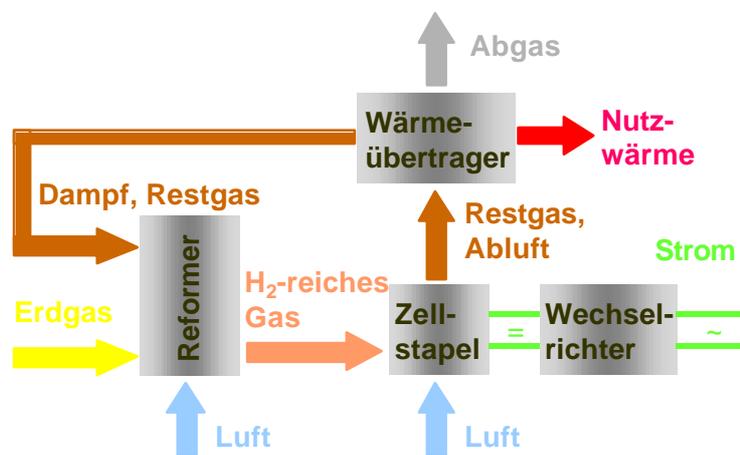
Innerlich betrachtet ist eine Brennstoffzelle ein elektrochemischer Apparat, der chemische Energie direkt und ohne Umweg in Strom und Wärme umwandelt.

Der Aufbau ist mit einer Batterie vergleichbar. Es gibt eine Anode, eine Kathode und einen dazwischenliegenden Elektrolyten. Anode und Kathode sind elektrisch verbunden. Der Anode wird Wasserstoffgas zugeführt und zerfällt dort aufgrund des Wirkens eines Katalysators in Protonen und Elektronen. Die Protonen wandern durch den Elektrolyten zur Kathode. Die Elektronen bewegen sich extern durch einen elektrischen Leiter zur Kathode.

An der Kathode verbinden sich Protonen, Elektronen und Luftsauerstoff zu Wasser. Diese Reaktion ist - vereinfacht gesprochen - so sehr im Interesse der Reaktionspartner, dass die Elektronen auch trotz äusseren Widerständen quasi über die elektrische Leitung "angesaugt" werden. Dies bedeutet, dass in der Elektroleitung zwischen Anode und Kathode elektrische Verbraucher angeordnet werden können, dort also Elektroenergie nutzbar ist. Im Extremfall ist das gesamte elektrische Verbundnetz die Verbindung zwischen Anode und Kathode.



Aufbau einer Einzelzelle



Aufbau eines kompletten BZ-Aggregats

Leider ist die bei Belastung nutzbare Spannung mit etwa 0,7 Volt relativ gering. Deshalb werden mehrere Hundert Einzelzellen in Reihe geschaltet und bilden einen "Brennstoffzellenstapel". Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, das Wasserstoff nicht direkt verfügbar ist sowie der entstehende Gleichstrom nicht direkt genutzt werden kann. Aus diesen Gründen wird der Stapel noch durch einen Reformer, also ein Bauteil, welches Erdgas in Wasserstoff umwandelt, sowie durch einen Wechselrichter zum Brennstoffzellenaggregat ergänzt. Dieses enthält weiterhin Wärmeübertrager um die Abwärme des Prozesses ab- und der Nutzung als Heizwärme zuzuführen. Die Abwärme (in der Kamener Zelle bis zu 200 °C) entstammt Reibungsverlusten der Protonen und Elektronen im Stapel sowie dem Abgas.

Das Brennstoffzellenaggregat wird üblicherweise ebenfalls mit dem Wort Brennstoffzelle bezeichnet.

In Kamenz ist eine erdgasbetriebene Brennstoffzelle PC 25 C des US-amerikanischen Herstellers ONSI im Einsatz. Als Elektrolyt kommt geschmolzene, wasserfreie Phosphorsäure zum Einsatz. Der Zellenstapel besitzt eine Betriebstemperatur von 200 °C. Die Zelle hat nach Herstellerangaben bei Nennlast folgende Eigenschaften /1/2/:

Brennstoffwärmebedarf:	500 kW (H <sub>u</sub> )
Elektrische Leistung:	200 kW
Wärmeleistung HT:	110 kW (120/100 °C)
Wärmeleistung NT:	100 kW (60/40 °C)

Beim eingesetzten Typ handelt es sich weltweit um das einzige bisher verfügbare Serienprodukt. Die Zelle ist in einem 20'-Container untergebracht und im Freigelände aufgestellt.

Ausserhalb des Containers befindet sich ein Kühlmodul, das auch bei Wegfallen der Wärmeauskopplung eine sichere Abfuhr der Prozesswärme gewährleistet.

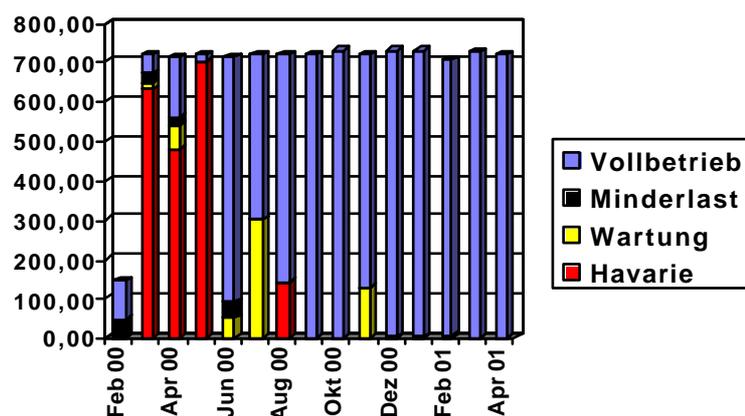
Die Wärmeauskopplung unterscheidet sich von der eines Blockheizkraftwerks. Es gibt eine Hochtemperaturauskopplung, die bis zu 120 °C liefern kann und deren Wärme vorrangig aus dem Brennstoffzellenstapel stammt. Daneben existiert eine Niedertempერaturauskopplung, deren Wärme vorrangig aus dem Abgaskühler kommt. Da das Abgas reformierungsbedingt wesentlich wasserdampfreicher als das Abgas von Gaskesseln ist, kommt der Brennwertnutzung eine grosse Bedeutung zu. Eine gute Wärmeauskopplung ist daher nur mit niedrigen Rücklauftemperaturen, möglichst unter 40 °C, möglich. Dazu existieren kaum Erfahrungen aus anderen Anlagen, da die Mehrzahl der bisher von ONSI produzierten Zellen keine getrennte Wärmeauskopplung aufwies.

Die Brennstoffzelle wurde im Februar 2000 erstmalig in Betrieb genommen. In der Einlaufphase wurde mehrfach der Austausch des Zentralrechners notwendig.

Nach Beseitigung weiterer Fabrikationsmängel wurde die Zelle Ende Mai erneut in Betrieb genommen. An Stillständen gab es noch eine Havarie im August und eine reguläre Wartung im November.

Seitdem arbeitet die Brennstoffzelle kontinuierlich. Sie hat sich bewährt.

Die Anfangsprobleme sind aus jetziger Sicht eher unkritisch, da sie mit Ausnahme der kurzen Havarie im August vor Inbetriebnahme des Krankenhauses auftraten.



Betriebsstunden der Brennstoffzelle

Es wurden folgende elektrischen Wirkungsgrade festgestellt:

Zeitbereich	Elt. Leistung kW	$\eta_{\text{elt}}$ in %
Anfang September	200	39
Anfang Juli	100	42
2. August (Inselbetrieb)	60	26
	30	13

Der elektrische Wirkungsgrad betrug bei Vollast 39 % und unterlag Schwankungen von maximal 0,5 %. Bei halber Last ist der Wirkungsgrad am höchsten, da die Leistungsverluste im Stapel sehr gering sind. Diese sinken mit weiterer Lastabsenkung zwar weiter, jedoch bleibt der Eigenverbrauch der Zelle konstant, was zu einer extremen Verschlechterung des Wirkungsgrades führt. Dieser Betriebsfall ist nicht regulär und wird inzwischen regelungstechnisch ausgeschlossen.

Der elektrische Wirkungsgrad bei halber bis voller Last liegt über dem für Blockheizkraftwerke gleicher Leistung üblichen Wert von 30 bis 35 %.

Die Hochtemperatur-Wärmeauskopplung lieferte eine Wärmeleistung von 100 bis 110 kW bei einer Temperatur bis zu 90 °C. Diese Temperatur ist für alle Wärmeverbraucher ausreichend. Der Einzelwirkungsgrad der HT-Auskopplung lag bei bis zu 20 %. Diese Daten sind voll zufriedenstellend.

Die Niedertemperatur-Auskopplung erfordert eine Rücklauftemperatur der Wärmeverbraucher von 40 bis 60 °C. Diese Temperatur lag aber stets bei 60 bis 70 °C. Ursache sind die für grosse Heizungsnetze typischen Probleme mit der Hydraulik. An einer Verbesserung wird gearbeitet. Solange keine Besserung eintritt kann die Brennstoffzelle keinerlei NT-Wärme auskoppeln.

Der Gesamt-Wirkungsgrad ergibt sich damit aus Strom und HT-Wärme in Summe zu 60 %. Dies mag wenig erscheinen, liegt aber weit über dem mittleren Wirkungsgrad aller deutschen Kraftwerke (36 %).

### Adsorptionskältemaschine

In Kamenz wurde eine Adsorptionskältemaschine vom Typ Mycom ADR 30 des japanisch Herstellers Mayekawa installiert /3/4/. Die Maschine arbeitet mit dem Stoffpaar Silicagel/Wasser. Da es sich um ein festes Sorptionsmittel handelt, sind Adsorber und Desorber umschaltbare Kammern ausgeführt, so dass sich eine zyklische Betriebsweise ergibt. Die Zyklusdauer beträgt 10 Minuten.



Foto der AdKM bei der Einbringung

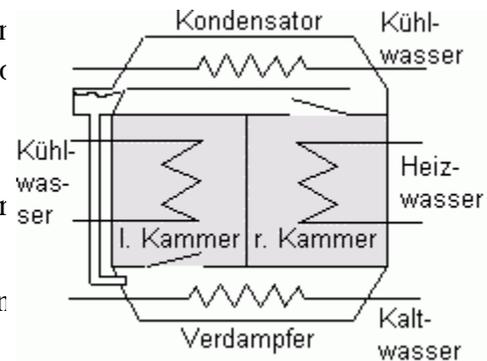
Grosse Wärmeübertragerflächen ermöglichen eine Betriebsweise nahe an den thermodynamischen Grenzen.

Weiterhin ist aufgrund der im Gegensatz zu Absorptionskältemaschinen fehlenden Kristallisationsgefahr ein Betrieb in sehr weiten Grenzen möglich. Beide Eigenschaften ermöglichen dieser Maschine einen Betrieb bei geringeren Heiztemperaturen als Absorptionsmaschinen mit dem Stoffpaar LiBr/H<sub>2</sub>O sowie ein stabileres Betriebsverhalten. Negativ fallen der gegenwärtig noch deutlich höhere Preis sowie grösseres Bauvolumen und Masse auf.

Eine Adsorptionskältemaschine besteht aus zwei mit Silicagel gefüllten Kammern sowie einem Kondensator und einem Verdampfer.

Ein Zyklus läuft wie folgt ab:

1. Das an das Silicagel angelagerte Wasser wird in der rechten Kammer unter Wärmezufuhr ausgetrieben.
2. Das Wasser wird im Kondensator verflüssigt und Wärme an das Kühlwasser abgeführt.



Aufbau einer AdKM

3. Das Kondensat wird in den Verdampfer eingespritzt und bei starkem Unterdruck verdampft. Dabei wird Wärme aus dem Kaltwasser entnommen und dieses dabei auf die für die Klimaanlage erforderliche Temperatur abgekühlt.
4. In der linken Kammer wird der Wasserdampf adsorbiert und die entstehende Wärme an das Kühlwasser abgeführt.

Durch einfaches Umlenken des Heiz- und Kühlwasserkreislaufs zwischen den beiden Kammern werden die Funktionen Austreiber und Adsorber am Ende eines Zyklusses vertauscht und der Prozeß beginnt von neuem.

Die bisherige Betriebsführung hatte sich als unproblematischer als bei der Brennstoffzelle erwiesen. Schwierigkeiten gab es lediglich mit der Vakuumpumpe und einem falsch eingestellten Strömungswächter im Kältekreislauf. Das Problem mit der Vakuumpumpe war zwar langwierig, trat aber vorrangig im Winter auf, als kein Kältebedarf vorlag.

Die Kältemaschine weist folgende Parameter auf:

		Auslegung			Typischer Betrieb (Messwerte)		
		Kälte	Kühlung	Heizung	Kälte	Kühlung	Heizung
Eintritt	°C	12	25	80	12,1	26	70
Austritt	°C	6	30	70	8	29,8	65
Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h	16,2	55	17,1	20	56	26
Leistung	kW	113	319	199	95	247	151

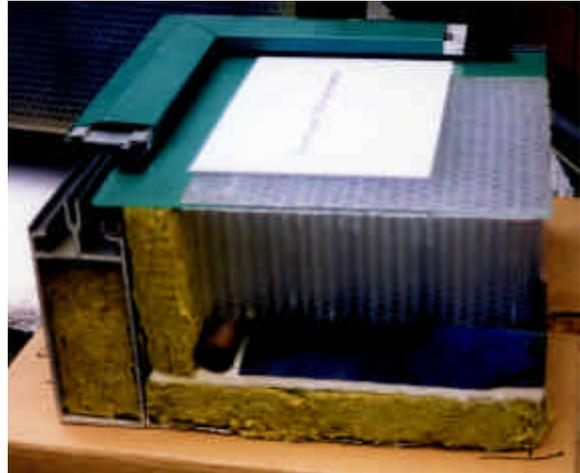
Die Maschine wurde bisher in einem breiten Parameterbereich betrieben. Dabei zeigte sich, dass diese auch bei einer Heiztemperatur von nur 60 °C noch arbeitet - allerdings mit deutlich verringerter Leistung. Damit ist sie besonders für die Beheizung durch Solaranlagen geeignet.

Das gemessene Kälteverhältnis bei Vollast lag bei 0,6 und entsprach damit den Angaben des Herstellers. Im Teillastfall sank das Kälteverhältnis auf bis zu 0,4. Eine Anpassung des

Regelungsprinzips wird dies noch verbessern. Die Eigenschaften haben damit zwar Optimierungspotenzial, sind aber besser als bei jeder anderen uns bekannten Sorptionskälteanlage.

### **Thermische Solaranlage**

Die thermische Solaranlage besteht aus 115 m<sup>2</sup> Flachkollektoren mit transparenter Wärmedämmung aus Glasröhrchen. Dieser Typ ist Kamenz erstmalig im Einsatz. Die transparente Wärmedämmung verringert den Wärmeverlust des Kollektors. Sie ist hochtemperaturbeständig und ermöglicht auch bei den Kältemaschinen bei hohen Betriebstemperaturen bis zu 90 °C noch einen hohen Wirkungsgrad.



Dies konnte messtechnisch bestätigt werden. An sonnigen Frühlingstagen lag der maximale Wirkungsgrad bei 50 % und der mittlere Wirkungsgrad bei 33 %. Dies entspricht annähernd den Eigenschaften von Vakuumröhrenkollektoren.

Schnittmodell des Kollektors

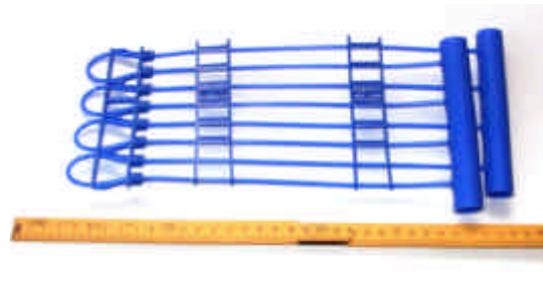
### **Kühldecken**

Kühldecken haben gegenüber konventionellen Klimaanlage die Vorteile, dass Strahlungskühle für den Menschen sehr viel angenehmer ist als ein kalter Luftzug und dass sie nur eine Kältetemperatur von 16°C statt 6-8 °C benötigen, was zu Energieeinsparungen bei den Kältemaschinen führt.

Der Hauptnachteil besteht darin, dass sie die Luft nicht entfeuchten können. Daher verwendet man sie nur in Räumen mit geringer Bedeutung der Feuchteabfuhr oder in Kombination mit konventionellen Klimaanlage.

In einem Krankenhaus kommt zudem noch das Problem mit der Deckenbelegung durch Medizintechnik hinzu.

Es konnten nur wenige Räume gefunden werden in denen Montagefreiheit an den Decken besteht und keine erhöhte Luftfeuchtigkeit (z.B. Küche) die Gefahr der Taupunkt-unterschreitung und Tropfwasserbildung nach sich zieht. Installiert wurden insgesamt 120 m<sup>2</sup> Kühldecken mit 8 kW Kühlleistung. Das Rohrmaterial besteht aus Polypropylen-Kapillaren, die in abgehängte Gipskarton-Decken eingelassen sind.



Muster Polypropylen-Kapillare

Die Kühldeckenanlage konnte nachrüstungsbedingt nicht mehr mit Messtechnik ausgestattet werden. Betriebsdaten sind daher nicht bekannt.

### Ausblick

Die Anlage in Kamenz wird noch etwa ein Jahr gründlich vermessen. In dieser Zeit sind eine Reihe von Optimierungen des Betriebsverhaltens geplant. Details werden kontinuierlich unter der Internetpräsentation [www.malteser-krankenhaus-kamenz.de](http://www.malteser-krankenhaus-kamenz.de) veröffentlicht.

### Literatur

- /1/ EES GmbH, Essen, Prospekt für Brennstoffzelle PC25 C
- /2/ J. Grohmann, TU München: Kraft-Wärme-Kopplung mit Brennstoffzellen - Darstellung eines realisierten Projekts
- /3/ Albring GmbH, Alsbach, Prospekt für AdKM, Typ Mycom
- /4/ A. Gassel: Die Adsorptionskältemaschine - Betriebserfahrungen und thermodynamische Berechnung, ki - Luft und Kältetechnik 8/98
- /5/ A. Gassel: Betriebsverhalten der Kälte- und Solaranlage im Bürogebäude „An der Loge“ in Dresden, Studie der TU Dresden im Auftrag der Götz GmbH Dresden, unveröffentlicht
- /6/ K. Rühling, P. Seifert, A. Gassel: Technischer Endbericht des Projekts “Rational supply of power, heat and cooling in buildings demonstrated by a hospital in Dresden (deutsch und englisch), Freiberg, 2001