



**BINE**

Informationsdienst

# KWKK

Kraft - Wärme - Kälte - Kopplung



1 Single-Effect/Double-Lift Absorptionskältemaschine zur Kälteerzeugung aus Fern- und Nahwärme (Foto: GEA Happel)

*Mit der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung werden die Primärenergieeinsparpotentiale und ökonomischen Vorteile einer gekoppelten Strom- und Wärmeproduktion auch für die Versorgung mit Klima- und Prozeßkälte erschlossen. Die bislang stromintensive Kälteversorgung erfolgt hierbei über thermische Kälteprozesse, die mit Wärme aus einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage bzw. Fernwärme angetrieben werden.*

In den Sommermonaten sind die Wärmenetze von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWKK) überwiegend schwach ausgelastet. Im gleichen Zeitraum wird in vielen Zweckbauten Kälte für Klimatisierungsaufgaben und in der Industrie für Kälteprozesse benötigt. Mit dem Einsatz thermisch angetriebener Kältemaschinen kann die Auslastung und damit die Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen erhöht werden. Die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) kann sowohl im dezentralen Verbund mit Blockheizkraftwerken und Gasturbinen als auch angebunden an Fernwärmenetze mit Heizkraftwerken bzw. Abwärmenutzung (Fernwärme-Kälte-Kopplung) realisiert werden.

Gegenüber einer Kälteerzeugung mit elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschinen kommen thermisch angetriebene Kältemaschinen mit bis zu 30% weniger Primärenergie aus. Zudem verringert sich in

den meisten Fällen die Anschlußleistung für den Strombezug. Auch kommen durchweg unbedenkliche Kältemittel/Lösungsmittelgemische zum Einsatz (z. B. Wasser/Lithiumbromid). Ein weiterer Vorteil ist die kostenwirksame Senkung von Strombezugsspitzen im Sommer.

Seit 1995 gibt es den vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungsschwerpunkt Fernwärme-Kälte-Kopplung, mit dem die betrieblichen und technischen Möglichkeiten der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung eingehend untersucht wurden. Im folgenden werden neben den Planungsgrundlagen von KWKK-Systemen und möglichen Anwendungsbereichen die erfolgreichen Pilot- und Demonstrationsanlagen des Forschungsschwerpunktes zusammen mit weiteren Anlagenbeispielen vorgestellt und technologische Entwicklungslinien skizziert.

# Kälteversorgung mit KWKK

Systeme der Kraft-Wärme-Kopplung wurden in zahlreichen Projekten der Energieforschung seit Jahren weiterentwickelt. Ein neuer Forschungsschwerpunkt ist die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, mit der die Kraft-Wärme-Kopplung besser genutzt und ausgeweitet werden könnte.

Anfang der 90er Jahre wurden Anlagen zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) in nur wenigen Objekten eingesetzt. Denn mit Standard-Absorptionskälteanlagen wurde eine nur ungenügende Auskühlung der Fernwärmenetze erreicht. In zwei BMWi-geförderten Verbundprojekten sollten technisch und betrieblich optimierte KWKK-Lösungen auf Basis von Standard-Absorptionskältemaschinen erarbeitet werden.

## Kältemarkt

Die KWKK ist für die industrielle Kühlung und die Klimatisierung einsetzbar. Investoren in KWKK-Systeme sind gleichermaßen in der Industrie wie im Dienstleistungssektor anzutreffen. Auch per Contracting (mit Anlagenbauern oder Versorgungsunternehmen) können KWKK-Lösungen realisiert werden.

Ab einer Außentemperatur von 14-16° C wird der Wärmebedarf für die Raumheizung vernachlässigbar gering. ② verdeutlicht, daß eine Klimakälteerzeugung mit thermisch angetriebenen Kältemaschinen ideal zur besseren Auslastung von KWKK-Systemen beitragen kann.

## Stand und Potential der KWKK

Heute werden für die thermisch angetriebene Kälteerzeugung überwiegend Absorptionskältemaschinen (AKM) eingesetzt. Die Installationszahlen von AKM konnten in Deutschland im Zeitraum 1993-95 stark zulegen. Die insgesamt installierte Absorberleistung betrug 1995 bereits 660 MW<sub>th</sub>. Dabei handelt es sich überwiegend um einstufige Wasser-LiBr-AKM – bis 1995 wurden in Deutschland lediglich 36 zweistufige Wasser-LiBr-AKM installiert sowie 12 einstufige Wasser-NH<sub>3</sub>-AKM (von insgesamt 520 Aggregaten).

In Deutschland werden pro Jahr ca. 800 – 1.000 Gebäude mit Vollklimaanlagen ausgestattet, von denen ca. 1/3 Altanlagen ersetzen. Das entspricht einer jährlich installierten Kälteleistung von ca. 500 MW<sub>th</sub>. Haupteinsatzgebiete sind im Bereich von Büro-/Verwaltungsgebäude/EDV, Krankenhäuser, Hotels und sonstigen Zweckbauten zu finden. Und die Schätzungen für die derzeit im Klimakältebereich installierte Kälteleistung inkl. Lebensmittelbranche und Industrie gehen von ca. 20 GW<sub>th</sub> aus.

Die KWKK (einschließlich der Fernwärme-Kälte-Kopplung) kann hiervon nur einen kleinen Anteil bedienen, der sowohl KWKK- bzw. fernwärmegeeignet ist als auch technisch sinnvoll mit thermischen Kältemaschinen versorgt werden kann ③.

Durch verbesserten Wärmeschutz (WSchVO 95, ESV 2000) zeichnet sich ein rückläufiger Wärmeabsatz in Nah- und Fernwärmenetzen ab. Hinzu kommt, daß es in der Klimakälteversorgung aufgrund verschiedener Faktoren voraussichtlich einen weiteren Anstieg des Kältebedarfs geben wird. Daher wird die Erzeugung von Kälte aus (überschüssiger) Wärme für den wirtschaftlichen Betrieb oder den Ausbau von KWKK-Systemen wichtig.

## Charakteristik des Kältebedarfs

Geeignete KWKK-Konzepte erfordern vorab eine Kältebedarfserhebung, die Prüfung der technischen Möglichkeiten zur Klima- und Prozeßkälteversorgung sowie eine fundierte

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung. Technisch bedingte Einschränkungen bei der Wahl der Kältesysteme ergeben sich aus den speziellen Anforderungen der Kältekunden und den Möglichkeiten vor Ort. Entscheidend sind hierbei

- das Temperaturniveau des Kältebedarfs (bei Klimakälte üblicherweise > 6° C, bei Prozeßkälte < 0° C),

- Charakteristik der Kältelast (bei industrieller Kühlung meist ganzjährige Abnahme, bei Klimatisierung ausgeprägte Sommer Spitze),

- die lokal verfügbaren Energieträger sowie
- die örtlichen Aufstellungsbedingungen der Kälteanlage (verfügbare Fläche bzw. zulässige Lasten für Kältemaschine und Rückkühlwerke).

Thermische Kältemaschinen zeichnen sich durch eine hohe Sensitivität gegenüber den anliegenden Temperaturen (Antriebs-, Kühlwasser- und Rückkühl-/Kühlturmtemperatur) aus, so daß durch flexible Betriebsstrategien gepaart mit moderner Technologie erhebliche Optimierungspotentiale bei Auslegung oder Betrieb möglich sind. Unterstützt wird die Realisierung dieser Strategien durch die vielfältigen Eingriffsmöglichkeiten per moderner Gebäudesystemtechnik und den Einsatz von Kühldecken, welche mit höheren Kaltwassertemperaturen auskommen.

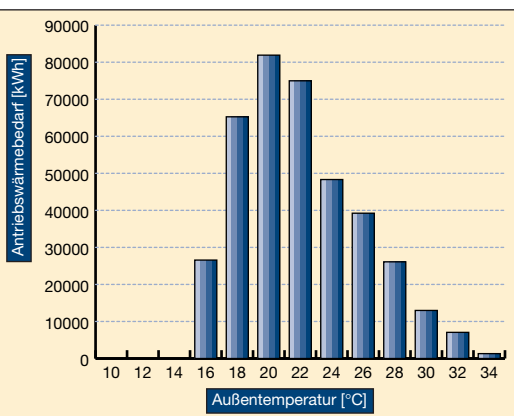
(Fern-)Kältenetze sind bisher in der Bundesrepublik nur selten vorzufinden (z. B. in Hamburg, Chemnitz, Gera). Sie sind allein dort sinnvoll, wo ein räumlich begrenzter und konzentrierter Kältebedarf vorhanden ist, wie das z. B. in Dienstleistungszentren der Fall ist.

## Kälte Dienstleistung mit KWKK

Die KWKK muß im Wettbewerb mit anderen Kältetechnologien bzw. Kälte Dienstleistungen bestehen. Für die einzelne Anwendung liefert der Quervergleich eine Einschätzung zur Wirtschaftlichkeit der KWKK. Der Kältekunde sucht letztlich eine preiswerte und sichere Lösung für seine Kälteversorgung, die er mit einem Kälte Dienstleister oder mit der eigenen Anlage technisch-wirtschaftlich optimal realisieren kann.

Positiv kann die KWKK durch Contracting- oder Nutzenergiekonzepte und die systematische Erschließung des Kältemarktes über kommunale oder lokale Kälteversorgungs-konzepte beeinflusst werden – generell sollte die KWKK nicht als (isolierte) Technologie sondern im Rahmen einer Energiedienstleistung vermarktet werden.

2 Antriebswärmebedarf einer Kältemaschine in einem Bürogebäude mit einem Kältebedarf von 400 kW<sub>th</sub>



	Potential	Bislanginstallierte Leistung/Anlagen
Fernwärme-Kälte-Kopplung	1,5 – 2 GW <sub>th</sub>	185 MW <sub>th</sub> / 109 Anlagen <sup>1)</sup>
Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit BHKW	2 – 3 GW <sub>th</sub>	200 MW <sub>th</sub> / 55 Anlagen <sup>2)</sup>

1) gemäß AGFW 1998  
2) gemäß VDEW 1996. Insgesamt waren 1996 ca. 2.200 BHKW mit 1.260 MW<sub>el</sub> installiert

Geschätztes Potential für Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

# Technik und Planungsgrundlagen

## Technische Konzepte der KWKK

Die Antriebswärme für die thermisch angetriebenen Kälteprozesse, die alle auf dem Prinzip der Sorption beruhen, kann durch unmittelbare Anbindung an ein Blockheizkraftwerk, an eine Gasturbine oder über ein zentrales Fernwärmenetz bereitgestellt werden. Die bedeutenden Verfahren sind in 4 aufgeführt.

Deren Einsatzmöglichkeiten, Anwendungsgrenzen und die Leistungscharakteristik unterscheiden sich erheblich 5.

### Wasser-LiBr-AKM (einstufig/zweistufig)

Unter den thermisch angetriebenen Kältemaschinen haben sich Wasser-LiBr-AKM in der KWKK etabliert. Wie in konventionellen KKM wird ein Kältemittel (hier: Wasser) verdampft, indem es Wärme z. B. aus dem Kaltwasserkreislauf einer Klimaanlage aufnimmt. Der Druck des Kältemittels wird dann erhöht und die aufgenommene Wärme an einen Kühlwasserkreislauf (Rückkühlwerk) auf höherem Temperaturniveau abgegeben.

Im Gegensatz zu KKM erfolgt bei AKM eine thermische Verdichtung des Kältemittels. Dies geschieht mittels kombiniertem Lösungsmittel- und Kältemittelkreislauf. Elektrische Antriebsenergie wird lediglich zum Betrieb der Lösungsmittelpumpe benötigt, mit der eine hygroskopische Wasser-LiBr-Lösung umgewälzt wird. Auf niedrigem Temperaturniveau verdampft das Kältemittel Wasser und wird von der Wasser-LiBr-Lösung absorbiert. Die auf diese Weise verdünnte Wasser-LiBr-Lösung wird auf ein höheres Druckniveau gepumpt und unter Wärmezufuhr das Kältemittel Wasser als Dampf freigesetzt. Der Dampf kondensiert im Kondensator. Das Kondensat wird entspannt und im Verdampfer unter Wärmeaufnahme aus der Umgebung verdampft. AKM sind in einstufiger (Single Effect, SE) und zweistufiger Bauweise verfügbar. Zweistufige AKM (Double Effect) sind aufgrund ihrer hohen spezifischen Investitionskosten nur bei Antriebstemperaturen  $>150^{\circ}\text{C}$  (z. B. in Kombination mit Gasturbinen) wirtschaftlich sinnvoll einsetzbar.

Für den Betrieb in KWKK ist die Rücklauf-temperatur entscheidend, welche von der AKM erreicht wird. Normalerweise (Kalt-

wasser:  $6^{\circ}/12^{\circ}\text{C}$  und Kühlwasser  $27^{\circ}/32^{\circ}\text{C}$ ) ist die untere Grenze der Rücklauf-temperatur  $70^{\circ}\text{C}$ . Hier erreichen Standard-AKM jedoch nur einen Bruchteil ihrer Nennkälteleistung 6.

Angepaßte einstufige Absorptionskältemaschinen für niedrige Antriebstemperaturen werden von der Fa. Carrier/Ebara und im Bereich kleiner Kälteleistungen von der Fa. York angeboten. Die Absorberbaureihe RAH von Carrier ist für Antriebstemperaturen von  $85-90^{\circ}\text{C}$  ausgelegt, die Auskühlung des Heißwassers beträgt ca. 10 K. Diese Maschinen werden in Deutschland aufgrund der hohen Anschaffungskosten nur in Ausnahmefällen eingesetzt.

### Ammoniak-Wasser-AKM (SE- und DL-AKM)

Bei einem Kältebedarf unter  $5^{\circ}\text{C}$  werden für die thermische Kälteerzeugung Wasser-Ammoniak-AKM eingesetzt. Mit einem einstufigen Prozeß können Verdampfer-temperaturen bis zu  $-60^{\circ}\text{C}$  erreicht werden. Typische Anwendungsfelder für die KWKK mit Wasser-Ammoniak-AKM sind die Lebensmittelindustrie, die Lagerhaltung sowie in Verbindung mit Eisspeichern auch die Klimatisierung.

Der Absorptionskälteprozeß mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser-Ammoniak ist dem mit Wasser-LiBr ähnlich. Aufgrund der geringen Dampfdruckdifferenz von Wasser und  $\text{NH}_3$  erfolgt jedoch zusätzlich eine Rektifikation nach dem Austreibungsprozeß.

Im Gegensatz zu Wasser-LiBr-AKM gibt es bisher kaum standardisierte Baureihen und die Kosten für Wasser-Ammoniak-AKM sind mit  $800 - 2500 \text{ DM/kW}_{\text{th}}$  deutlich höher als für Wasser-LiBr-AKM ( $150 - 250 \text{ DM/kW}_{\text{th}}$ ).

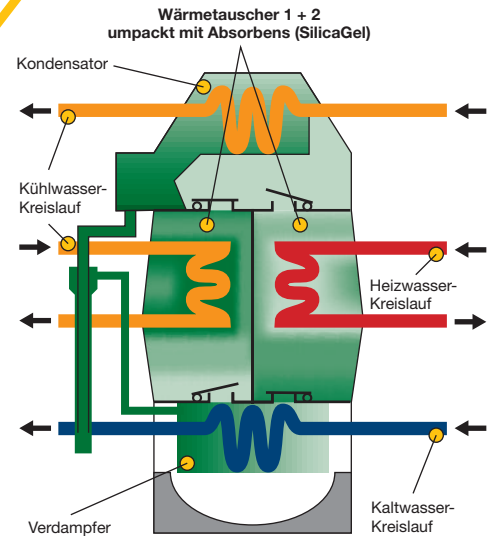
### Die Adsorptionskältemaschine mit Wasser-Silicagel

Adsorptionskältemaschinen (AdKM) mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser - Silicagel können noch Antriebstemperaturen von  $60^{\circ}\text{C}$  nutzen, so daß sie insbesondere für die Fernwärme und Solarthermie geeignet sind 7. Das Arbeitsstoffpaar Wasser-Silicagel ist einfacher zu handhaben als Wasser-LiBr (Kristallisation von LiBr). Der bei diesen Temperaturen sehr niedrige COP (ca. 0,4) läßt die KWKK zumeist unwirtschaftlich werden. Da zwischen zwei Adsorberbetten zyklisch umgeschaltet werden muß, kann mit Adsorberkältemaschinen nur ein quasi kontinuierlicher Prozeß realisiert werden. Die Wasser-Silicagel-

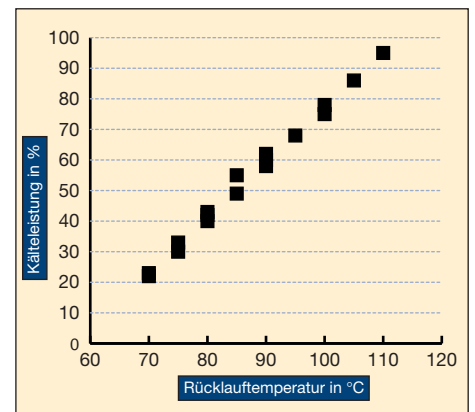
AdKM können bei Temperaturen bis zu  $95^{\circ}-100^{\circ}\text{C}$  mit Heißwasser betrieben werden. Die maximal zulässige Auskühlung des Heizwasserstromes beträgt 13 K, bei tiefen Temperaturen jedoch nur 5-6 K.

Die spezifischen Investitionskosten betragen zwischen  $700$  und  $3.000 \text{ DM/kW}_{\text{th}}$  und liegen damit deutlich über den Kosten für Wasser-LiBr-AKM. Insbesondere das hohe Gewicht und große Bauvolumen der Adsorber erschwert den Einsatz in vielen Anwendungsfällen.

### Darstellung einer Wasser-Silicagel-AdKM



### Kälteleistung einer einstufigen Wasser-LiBr-AKM in Abhängigkeit von der Rücklauf-temperatur

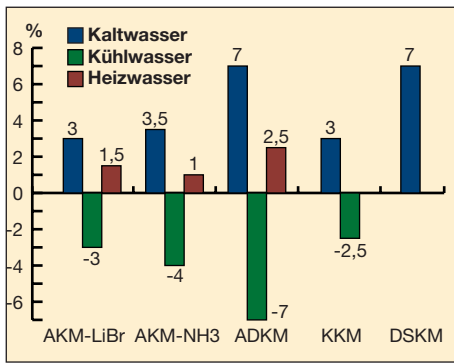


Technische und ökonomische Parameter thermisch angetriebener Kälteprozesse (Wärmeverhältnis  $\text{COP} = Q_{\text{O}}/Q_{\text{K}}$ , AdKM: Adsorptionskältemaschine, DSKM: Dampfstrahlkältemaschine, KKM: Kompressionskältemaschine, Auskühlung: Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf der Antriebswärme)

### Wichtige sorptive Kälteverfahren

Technologie	Prinzip
Wasser-Lithiumbromid(LiBr)-Absorptionskältemaschine (AKM) einstufige AKM für Temperaturen $< 150^{\circ}\text{C}$ , zweistufige AKM für höhere Temperaturen ( $145^{\circ} - 180^{\circ}\text{C}$ )	Absorption
Ammoniak( $\text{NH}_3$ )-Wasser-AKM (einstufige AKM und DL-AKM)	Absorption
DEC-Verfahren (Desiccative and Evaporative Cooling)	Offene Sorption
$\text{H}_2\text{O}$ -Silicagel-Adsorptionskälteanlagen	Adsorption

	Antriebtemp. °C	Auskühlung °C	COP	Modulpreis DM/kW
AKM-LiBr	80-115	8-30	0,55-0,7	160-300
AKM-NH3	100-160	8-30	0,45-0,6	800-2500
AKM-se/dl	70-90	8-55	0,4-0,7	500-700
ADKM	55-95	5-13	0,4-0,6	700-3000
DEC	80-90	10-25	0,5-0,7	650-1300
DSKM	85-180		0,5-1	120-350
KKM			$\approx 3-5$	150-250



Einfluss einer Änderung der Betriebstemperaturen um  $\Delta T = +1\text{K}$  auf die Kälteleistung (in Prozent)

$T_{\text{Kaltwasser}}$  = Temperatur der Nutzkälte,  
 $T_{\text{Kühlwasser}}$  = Temperatur des Wassers vom Kühlturm,  
 $T_{\text{Heizwasser}}$  = Temperatur der Antriebswärme

### Das DEC-Verfahren

Das DEC-Verfahren ist im Gegensatz zu den bisher behandelten Verfahren ein offener Kälteprozess. Im Gegensatz zur Klimakälteversorgung mit Kaltwassersätzen werden

- keine Rückkühlsysteme,
- keine Kaltwasserinstallationen und auch
- kein spezieller Kältemaschinenraum
- benötigt. Bei den offenen Sorptionskälteprozessen ist die zu klimatisierende Luft der Kälteerzeuger.

Beim DEC-Verfahren wird durch die sorptive Lufttrocknung und anschließender Verdunstungskühlung die notwendige Kälte erzeugt. Die Zuluft wird in dem mit Silicagel oder Zellulose/LiCl bestückten Sorptionsrad getrocknet. Da zur Regeneration des Trocknungsmittels Temperaturen von  $55^\circ - 65^\circ\text{C}$  ausreichen, können zur Erwärmung der Regenerationsluft Fernwärme, Abwärme oder Solarwärme genutzt werden. Die Höhe der Regenerationstemperatur wird im wesentlichen von der erforderlichen Trocknungsleistung bestimmt.

Mit den am Markt angebotenen Sorptionsrädern können Zuluftmengen von bis zu  $50.000\text{ m}^3/\text{h}$  entfeuchtet werden. Die spezifischen Investitionskosten betragen zwischen  $5$  und  $11\text{ DM}/(\text{m}^3/\text{h})$ , entsprechend  $650 - 1.300\text{ DM}/\text{kW}_{\text{th}}$  Kälteleistung (Stand 1995). Eine mit der DEC-Kühlung ausgestattete Zentralklimaanlage benötigt gegenüber herkömmlichen Zentralklimaanlagen mit Kalt-

wasserversorgung einen ca. 20% größeren Aufstellplatz.

Abhängig von den Außenluftbedingungen kann bei der DEC-Kühlung ca. 25 bis 50% des Kühlbedarfs durch Abluftbefeuchtung, d. h. ohne jeden zusätzlichen Energiebedarf für die Regeneration des Trocknungsrades, erbracht werden. Bei einem Kühlbedarf von 75% des Nennkühlbedarfs wird eine Heizleistung von  $1\text{ kW}_{\text{th}}$  je  $\text{kW}_{\text{th}}$  Kühlleistung und unter Nennlastbedingungen werden abhängig von den Außenluftbedingungen  $1,4 - 2\text{ kW}_{\text{th}}$  Heizleistung je  $\text{kW}_{\text{th}}$  Kühlleistung benötigt.

Aus der Kaltluftzerzeugung ergeben sich Einschränkungen für den Einsatz des DEC-Verfahrens:

- Bei schon bestehenden Einrichtungen zur Klimatisierung, bei denen Kaltwasser benötigt wird und nicht genügend Platz in der Klimazentrale vorhanden ist, kann die DEC-Kühlung nicht zum Einsatz kommen.
- Das DEC-Verfahren ist nur für kleinere Kälteleistungen geeignet (bis  $400\text{ kW}_{\text{th}}$  bzw. bis zu einer Zuluftmenge von  $50.000\text{ m}^3/\text{h}$ ).
- Zuluft und Abluft müssen parallel geführt werden. Alternativ ist ein Wärmeträgerkreislauf anstelle des Regenerators vorzusehen.

### KWKK mit Gasturbine oder Motor-BHKW

Optimale Antriebsbedingungen für die KWKK werden bei der Anbindung an eine Gasturbine mit direkter Nutzung der Abgaswärme bzw. über eine Dampfkopplung erzielt.

In Verbindung mit Motor-BHKW-typischen Antriebstemperaturen von  $90-95^\circ\text{C}$  leisten Wasser-LiBr-AKM nur die Hälfte ihrer Auslegungsleistung. Höhere Temperaturen von  $120^\circ\text{C}$  können mit heißgekühlten BHKW erzielt werden. Diese besitzen allerdings einen um etwa 5% geringeren Wirkungsgrad. Bei der Anbindung an normal- sowie heißgekühlte BHKW ist vor allem die Einhaltung maximaler Rücklauftemperaturen zu beachten. Bei Rücklauftemperaturen von mehr als  $70^\circ\text{C}$  sind Anpassungen an Öl- und Ladeluftkühlung vorzusehen. Durch eine Vergrößerung des Ölkühlers kann die Rücklauftemperatur bis auf  $85^\circ\text{C}$  angehoben werden. Darüber hinaus muß eine separate Ölkühlung erfolgen. Die Ladeluftkühlung

### Planungsmerkmale für KWKK-Systeme

- ▶ Bei Anbindung einer AKM an ein Nah- oder Fernwärmenetz: Vermeidung von hydraulischen Restriktionen durch eine möglichst niedrige Rücklauftemperatur bzw. eine hohe Temperaturspreizung mit kaltegeführter Vorlauftemperaturregelung.
- ▶ Kaltwassertemperaturen sollten dem tatsächlichen Bedarf angepaßt werden. Dies erfordert u. U. niedrigere Antriebstemperaturen für die thermische Kältemaschine.
- ▶ Ausnutzen niedrigerer Kühlwassertemperaturen ( $15-27^\circ\text{C}$ ) in der kühleren Übergangszeit (vgl. 8), Regelung nach der Feuchtkugeltemperatur der Umgebungsluft (unterer Grenzwert der Kühlwassertemperatur im Kühlturm).
- ▶ Ausnutzen der Möglichkeiten der Freien Kühlung (Kühlung über das Rückkühlsystem, für die jedoch eine Anhebung der Kaltwassertemperatur auf  $10^\circ$  bis  $14^\circ\text{C}$  notwendig ist).
- ▶ In den kühleren Jahreszeiten wird keine Luftentfeuchtung benötigt, so daß im Regelfall Kaltwassertemperaturen  $> 10^\circ\text{C}$  ausreichend sind.
- ▶ Rücklauftemperaturen von  $50^\circ$  bis  $60^\circ\text{C}$  sind nur mit mehrstufigen Absorptionskälteanlagen (se/dl-Absorber), Adsorptionskältemaschinen oder DEC-Verfahren zu erzielen.
- ▶ Bei Leistungen ab  $800-1.000\text{ kW}$  können die Investitionskosten durch eine Aufteilung der Kälteerzeuger für Grund- und Spitzenlast gesenkt werden, wobei letztere über Kaltwasserspeicher oder KKM erbracht wird.
- ▶ Eine Erhöhung der Antriebstemperatur ist möglich mit Spitzenlastkesseln oder mit einer kaltegeführten Fernwärmavorlauftemperatur zur kurzzeitigen Steigerung der Kälteleistung.

sollte einen getrennten Kühlkreislauf aufweisen. Die hierbei ungenutzte Abwärme aus dem Ölkühlkreis und aus der Ladeluft beträgt ca. 15% der gesamten thermischen Nutzleistung.

### Auslegungs- und Optimierungsstrategien

Zur Auslegung der Kühl- und Heizaggregate müssen die maximalen Kühl- und Heizlasten ermittelt werden. Um den Kältebedarf bei Neubauobjekten zu berechnen, ist eine Kühllastberechnung nach VDI 2078 bzw. eine Heizlastberechnung nach DIN 4701 durchzuführen. Eine Systemoptimierung und die Festlegung des Betriebsregimes ist ohne Kenntnis der zu erwartenden Tages- und Jahreslastgänge nicht möglich (vgl. 2). KWKK wird bisher überwiegend in der Klimatisierung eingesetzt, bei der aufgrund der äußeren Wärmelasten (Sonneneinstrahlung) ausgeprägte Lastspitzen und niedrige Vollbenutzungsstunden von 500 bis  $800\text{ h/a}$  anzutreffen sind (zum Vergleich: Raumwärme  $1.500-2.500\text{ h/a}$ ). Innere Wärmelasten durch Menschen und Maschinen/EDV gewinnen bei der Auslegung zunehmend an Bedeutung. Dies führt zu einer Ausweitung und Versteigerung der Kältebelastung.

In der Praxis scheidet die Realisierung einer KWKK oftmals am falschen Anlagenkonzept oder an ungeeigneten Auslegungsparametern, so z. B. an der starren Vorgabe einer Kaltwassertemperatur von  $6/12^\circ\text{C}$ . Eine gründliche und fundierte Planung, die das

Betriebskostenvergleich zwischen konventioneller Kälteerzeugung (KKM) und der Kälteerzeugung mit thermisch angetriebenen Absorptionskältemaschinen (AKM)

	KKM	AKM
COP/Wärmeverhältnis	4	0,7
Antriebsenergie	$250\text{ kWh}_{\text{el}}/\text{MWh}_{\text{th}}$	$1.400\text{ kWh}_{\text{th}}/\text{MWh}_{\text{th}}$
Hilfsantriebe	$40 - 50\text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{th}}$	$60 - 80\text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{th}}$
Wasserbedarf	$2,5 - 3\text{ m}^3/\text{MWh}_{\text{th}}$	$5 - 6\text{ m}^3/\text{MWh}_{\text{th}}$
Betriebskosten inkl. Stromleistung <sup>1)</sup>	$110 - 115\text{ DM}/\text{MWh}_{\text{th}}$	$71 - 78\text{ DM}/\text{MWh}_{\text{th}}$

1) Gilt für: Stromleistungspreis  $250\text{ DM}/\text{kWh}_{\text{el}}$  /a, Stromarbeitspreis  $0,13\text{ DM}/\text{kWh}_{\text{el}}$ , Wasser+ Abwasser:  $4,22\text{ DM}/\text{m}^3$ , Fernwärmepreis:  $30\text{ DM}/\text{MWh}_{\text{th}}$  (nur für Kältegestehung), Vollbenutzungsstunden:  $1.000\text{ h/a}$

System und die betrieblichen Wechselwirkungen der Kälteversorgung bis zum klimatisierten Raum berücksichtigt (8), kann die Effizienz der KWKK-Anlage wesentlich erhöhen. Eine von 6° auf 8° C erhöhte Kaltwasservorlauftemperatur ermöglicht bei gleicher Kälteleistung z. B. eine Senkung der Antriebstemperatur um ca. 4 K. Zu beachten sind darüber hinaus Aufstellungsbedingungen sowie Schallschutzanforderungen (besonders wichtig: Schallemissionen der Kühltürme), die ggf. zu Zusatzinvestitionen und höheren Betriebskosten (Strombedarf der Kühltürmventilatoren) führen können.

### Wirtschaftlichkeit der KWKK

Mit der KWKK können – insbesondere im Sommer - Lasttäler von Fern- oder Nahwärmenetzen sowie Gasnetzen aufgefüllt werden. Korrespondierend dazu werden Lastspitzen in der Stromerzeugung (Supply-Side-Planning/Management) bzw. im Strombezug (Demand-Side-Management) abgebaut. Die Klimatisierung wird – zusätzlich zur Heizung und Warmwasserbereitstellung – zum Wärmeverbraucher. Und mit den jährlichen Betriebsstunden des KWK-Systems zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme wächst auch der mittlere Brennstoffnutzungsgrad. Dies kann zu verringerten Strom-, Wärme- und Kältegestehungskosten führen.

### Anlegbarer Kältepreis

Der betriebswirtschaftliche Vorteil von Systemen der KWKK hängt von den jeweiligen

Strombezugsbedingungen bzw. von den im Einzelfall anlegbaren Kältepreisen (10) ab. Allgemeine Aussagen zur Wirtschaftlichkeit eines KWKK-Projektes können daher nur nach Prüfung der gesamten Strombezugsituation getroffen werden. Durch die meist niedrige Vollbenutzungsstundenzahl bei der Kälteversorgung ist der anrechenbare Leistungspreisanteil des Strombezugs hierbei kostenbestimmend.

Eine KWKK-Anlage lohnt sich nur dann, wenn die Gesamtkosten der Kälteerzeugung niedriger oder gleich den anlegbaren Kältekosten sind. In den meisten Anwendungsfällen sind Kältemischpreise von höchstens 200 bis 250 DM/MWh anlegbar. Die höheren Fixkosten der KWKK können erst bei ausreichend hohen Vollbenutzungstunden durch die im Vergleich zur KKM niedrigeren Betriebskosten ausgeglichen werden.

Bei der Berechnung der Betriebskosten von KWKK-Anlagen ist insbesondere auf die Kosten des Kühlturbetriebs hinzuweisen (Wasserverlust, Ventilatorantrieb), die im Einzelfall zu optimieren sind.

Die Veränderung der Strompreisgestaltung im liberalisierten Markt hin zu einer flexiblen, zeitvariablen Preisgestaltung wird den Wettbewerb der verschiedenen Systeme im Kältemarkt und die Optionen der Dienstleister nachhaltig beeinflussen. Thermische Kältemaschinen werden aufgrund der im liberalisierten Markt erheblich sinkenden Strompreise Wettbewerbsnachteile erleiden und nur bei günstigen Rahmenbedingungen und konsequenter Dienstleistungsorientierung wirtschaftlich attraktiv sein.

Zu beachten sind hierbei die schlechteren Leistungsziffern (Wärmeverhältnis) der AKM, die vor allem in den notwendigen Nebeneinrichtungen (z. B. Kühlturm) kostenwirksam werden und eine KWKK nur bei

sehr niedrigen Wärmekosten unter 20-30 DM/MWh wettbewerbsfähig machen.

### Tarifstruktur Kälte

Bei der Festlegung der Tarifstruktur für die Nutzkältelieferung muß beachtet werden, daß ein kostengerechter Tarif und der anlegbare Preis hinsichtlich ihrer Preisstruktur (Arbeits-/Leistungspreisanteil) erheblich voneinander abweichen können.

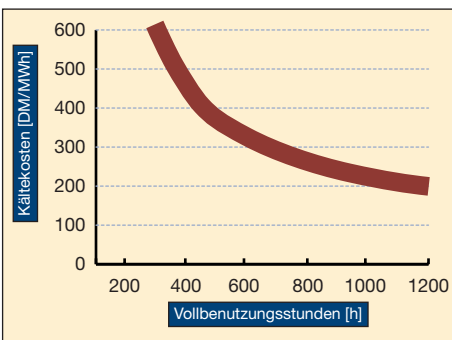
Dies gilt besonders dann, wenn thermisch angetriebene Kältemaschinen (hohe Fixkosten) für die Dienstleistung eingesetzt werden sollen. Auch beim Kälte-Direkt-Service mit KKM ergeben sich ähnliche Probleme aus der Zuordnung des Stromleistungspreises zur Nutzkälte. Darüber hinaus ist eine Tarifgestaltung mit Bezug auf die bestellte Kälteanschlußleistung und nicht auf die gemessene Spitzenleistung zwar für den Kälteanbieter zur Risikominimierung unabdingbar, für den Kältekunden jedoch mit einer langfristigen Fixkostenbelastung verbunden. Da ferner belastbare Bedarfscharakteristiken oft nicht vorliegen, können sowohl wirtschaftliche Risiken als auch Probleme bei Vertragsverhandlungen entstehen.

### Sensitivitätsrechnung / Fallbeispiel

Die Wirtschaftlichkeit der KWKK wird von den Energiepreisen und von Verbrauchervorgaben beeinflusst. Für ein bestimmtes Objekt werden in (12) die Kältekosten von AKM und KKM in Abhängigkeit verschiedener Betriebsparameter und Preise kalkuliert.

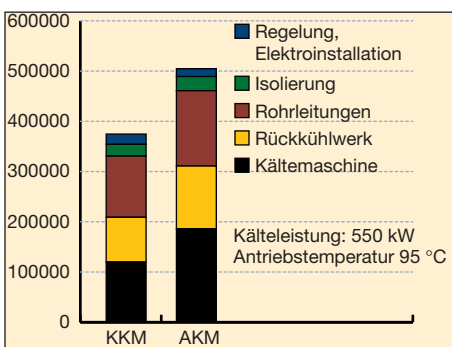
## 10

Anlegbare Kältepreise  
(= Vollkosten einer Kompressionskältemaschine)



## 11

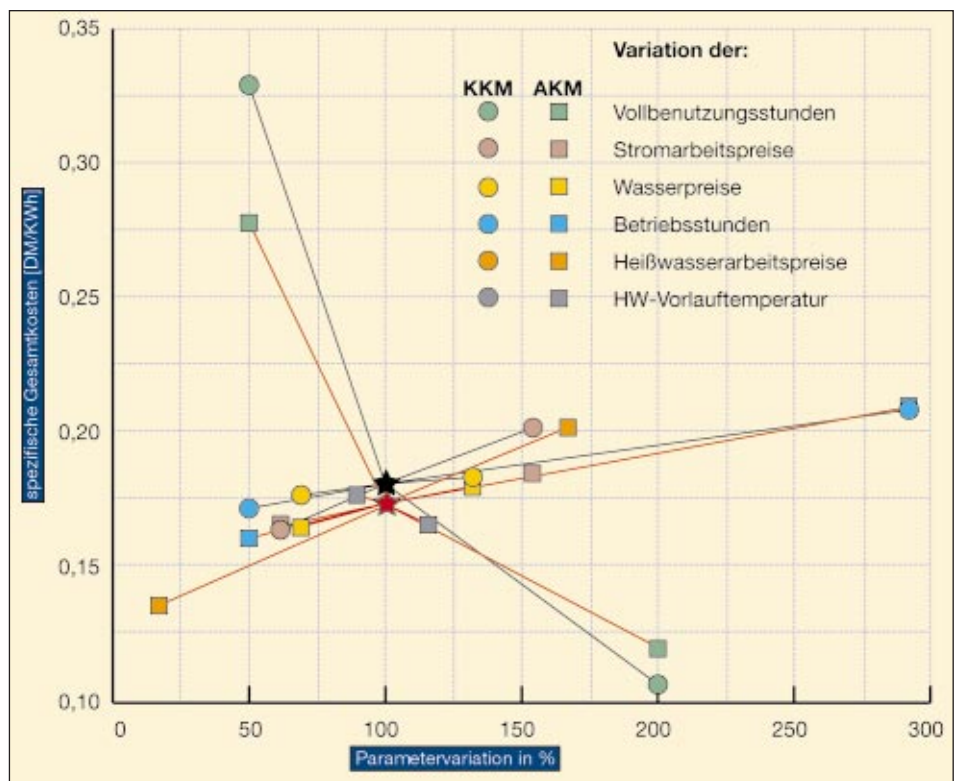
Kostenstruktur einer AKM (Wasser-LiBr, COP=0,7) im Vergleich mit der KKM (COP=4,2)



## 12

Sensitivitätsrechnung einer KWKK-Anlage.

Rot: AKM, Schwarz: KKM  
Ausgangsdaten: 1.000 Vollbenutzungstunden, 3.000 Betriebsstunden, Strompreis: 0,13 DM/kWh, Wasser+Abwasser 4,20 DM/m<sup>3</sup>, Stromleistungspreis 250 DM/kWh<sub>a</sub>; Fernwärmepreis 30 DM/MWh<sub>th</sub>, Fernwärmetemperatur 95°/85° C.



# Anwendungsbeispiele

Anhand von vier Pilotprojekten wird gezeigt, wie vielseitig Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung erfolgreich eingesetzt werden kann.

## Flughafen



Bei der Energieversorgung des Flughafens München wird zur Strom- und Wärmeversorgung eine BHKW-Anlage eingesetzt, die auch zum Antrieb von zwei Absorptionskältemaschinen genutzt wird. Aufgrund der Betriebsprobleme durch eine zu geringe Auskühlung des Heißwassers mit den installierten Anlagen wurde 1997 eine zweistufige Wasser-LiBr-Absorptionskältemaschine nachgerüstet, welche bei Vorlauftemperaturen von 90° C Rücklauftemperaturen von 60° C sicherstellt.

Technische Daten der KWKK des Flughafens München	
<b>KWK-Anlage</b>	
7 BHKWs mit jeweils	1,6 MW <sub>el</sub> / 1,7 MW <sub>th</sub>
<b>Kälteanlagen</b>	
A) Einstufige SE Wasser-LiBr-AKM (2 x 1,5 MW <sub>th</sub> )	
B) Turbokompressionskältemaschinen (3 x 3,8 MW <sub>th</sub> )	
C) Zweistufige SE/DL-AKM (2,5 - 3 MW <sub>th</sub> )	
<b>Zu C):</b>	
<b>Absorptionskältemaschinen</b>	<b>Wasser-LiBr-AKM (SE/DL-AKM)</b>
Anzahl:	1
Heizmedium:	Heißwasser
Zustand Heizmedium:	130°/95° C 90°/60° C
Kälteleistung:	3,6 MW <sub>th</sub> 3 MW <sub>th</sub>
Heizleistung:	5,2 MW <sub>th</sub> 5 MW <sub>th</sub>
COP	0,7 0,6
Kaltwassertemperaturen	6°/12° C
Kühlwasservorlauftemperatur	27°/35° C
<b>Mischpreis Kälte</b>	Ca. 250 - 300 DM/MW <sub>th</sub>

## Bekleidungshaus



Die MVV Energie AG betreibt in Mannheim seit 1992 eine AKM als Contracting-Projekt. Die Auslegungsleistung der Anlage in dem Bekleidungshaus Engelhorn&Sturm beträgt 1.000 kW bei einer Kaltwassertemperatur von 7°/13° C. Das Antriebstemperaturniveau im Auslegungspunkt beträgt 86° C, das jedoch nach Betriebsmessungen nur an wenigen Tagen im Jahr wirklich gefahren werden muß. Die Fernwärme-Kälte-Kopplung hat sich in Mannheim bewährt, so daß in den letzten Jahren weitere Anlagen installiert wurden.

Technische Daten der AKM in Mannheim	
<b>Absorptionskältemaschine</b>	<b>Wasser-LiBr-AKM</b>
Anzahl:	1
Heizmedium:	Heißwasser
Zustand Heizmedium:	80-88° C
Kälteleistung:	1 MW <sub>th</sub>
Heizleistung:	1,4 MW
COP	0,7
Kaltwassertemperaturen	7°/13° C
Kühlwasservorlauftemperatur	max. 27°/ 35° C
<b>Investitionskosten</b>	1 Mio. DM
<b>Betriebskosten</b>	Ca. 60 DM/MW <sub>h</sub>

## Eissportkomplex



Das Eissportzentrum Weißwasser verfügt über drei Trainings- und Wettkampf-Eissportflächen, in deren Kälteversorgung eine Wasser-NH3-AKM eingebunden. Die benötigte Antriebswärme liefert ein BHKW, das gleichzeitig in das Fernwärmenetz Wärme einspeist. Die AKM deckt die Grundlast der Kälteversorgung und ist parallel zu

KKM in die bestehenden Ammoniak-Sammelbehälter eingebunden. Die Heizwassertemperaturen von 140° C werden über den Abgaswärmetauscher des BHKW bereitgestellt. Die für den Kälteprozeß nicht benötigte Heizenergie wird über Plattenwärmeübertrager ins Stadtwerkenetz ausgekoppelt. Sie erhöht so durch Reihenschaltung mit dem Motorkühler die Vorlauftemperatur der Fernwärmeeinspeisung. In den Sommermonaten, in denen die Kälteanlage nicht in Betrieb ist, übernimmt das BHKW die gesamte Grundlast des Fernwärmenetzes Weißwasser.

Technische Daten für die KWKK des Eislaufzentrums Weißwasser	
<b>KWK - Anlage</b>	<b>BHKW</b>
Klemmleistung:	2 x 1,29MW <sub>el</sub>
Thermische Leistung:	2 x 1,5 MW <sub>th</sub>
<b>Absorptionskältemaschine</b>	<b>Wasser-NH3-AKM</b>
Anzahl:	1
Heizmedium:	Wasser
Zustand Heizmedium:	140° C
Kälteleistung:	0,38 MW <sub>th</sub>
Heizleistung:	0,76 MW <sub>th</sub>
Verdampfungstemperatur NH <sub>3</sub> :	-6° C bis -16° C
Kühlwasservorlauftemperatur	25° C

## Industriebetrieb



Die Firma Boehringer Ingelheim in Biberach hat für die Produktion biotechnisch hergestellter Medikamente einen ganzjährigen Wärme-, Strom- und Kältebedarf. Die Wärme wird für Produktionszwecke, zur Heizung, Klimatisierung und Kälteerzeugung benötigt. Die Gasturbine ist für Erdgas und Heizöl

ausgelegt und erreichte in bislang 9 Betriebsjahren eine Verfügbarkeit von über 97%. Der Gasturbine nachgeschaltet ist ein Abhitzekessel mit Zusatzfeuerung. Mit der Zusatzfeuerung kann die Leistung des Abhitzekessels kontinuierlich von 10 t/h auf 20 t/h Dampferzeugung erhöht werden.

Technische Daten für die KWKK der Fa. Boehringer Ingelheim		
<b>KWK - Anlage</b>	<b>Gasturbine</b>	
Klemmleistung:	3,68 MW	
<b>Absorptionskältemaschinen</b>	<b>Wasser-LiBr-AKM einstufig</b>	<b>Wasser-LiBr-AKM zweistufig</b>
Anzahl:	2	1
Heizmedium:	Dampf	Dampf
Zustand Heizmedium:	2 bar, 120° C	5,5 bar, 148° C
Kälteleistung:	7,5 MW <sub>th</sub>	1,5 MW <sub>th</sub>
Verdampfungstemperatur:	6 - 14° C	6 - 13° C
Kühlwasservorlauftemperatur	28° - 38° C	28° - 34° C
<b>Leistungspreis</b>	120 TDM/MW/a	
<b>Arbeitspreis</b>	40 DM/MW <sub>h</sub>	

Neben den im Kapitel Technik und Planungsgrundlagen vorgestellten Standardverfahren werden im Rahmen von Demonstrationsprojekten und Forschungsvorhaben verschiedene neue Verfahren getestet und zum Teil bereits kommerziell angeboten.

## ■ SE/DL-AKM mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser-LiBr

Dieser Kältemaschinentyp wurde für die Kälteversorgung über Fernwärme- und Nahwärmenetze angepaßt. Eine möglichst gute Fernwärmeauskühlung und niedrige Fernwärmerücklauftemperaturen sollen erreicht werden.

Der zweistufige Absorptionsprozeß (Double-Lift) kann mit der bewährten Single-Effect-Kältemaschine (SE) kombiniert werden. Die

Wärmeeinkopplung erfolgt hier über drei getrennte Anlagenkomponenten: Ein Austreiber ist dem Single-Effect zuzurechnen und verwertet Antriebswärme über ca. 75° C mit hoher Effizienz (COP ≈ 0,75). Zwei weitere Austreiber speisen den Double-Lift-Prozeß (COP ≈ 0,4). Je nach zur Verfügung stehender Antriebswärme und entsprechender Mischung von Single-Effect- und Double-Lift-Prozeß wird ein Wärmeverhältnis von 0,6 bis 0,7 erreicht.

Es wurden bei der Entwicklung folgende Zielvorgaben gemacht:

- Auskühlung der Fernwärme/Nahwärme um mindestens 30 K
- Rücklauftemperaturen zwischen 55° und 60° C
- Optimierung des COP im Rahmen der Rücklauftemperaturrestriktionen

Bisher wurden drei Anlagen im Rahmen eines BMWi-Verbundprojektes in Berlin und Düsseldorf sowie in einem Folgeprojekt am Flughafen München getestet. Das Konzept hat sich technisch bewährt, allerdings sind diese Maschinen nur bei Kälteleistungen >1MW oder bei besonderen Anforderungen an die Betriebstemperaturen wirtschaftlich konkurrenzfähig.

## ■ Nutzung von Niedertemperaturwärme mit Adsorptions-Kältemaschinen

Eine Baureihe von Adsorptionskältemaschinen zur Nutzung von Niedertemperaturabwärme für Klimatisierung und Kühlung wurde entwickelt. Die modular aufgebauten Anlagen weisen folgende konstruktive und technologische Veränderungen auf:

Die Wärmetauscher sind in Plattenbauweise mit einer speziellen Berippung ausgeführt und zu kompakten Modulen in einem isolierendem Gehäuse zusammengefaßt. Dadurch wird eine höhere Leistungsdichte der Adsorptions-Wärmetauscher bei geringerer spezifischer Eigenwärme erreicht. Mit der internen Rückgewinnung von Sorptionswärme wird die Kältezahl weiter gesteigert. Der Funktionsnachweis für diese neue Anlagenkonzeption wird derzeit in zwei Prototypen (20kW-Doppelmodul, 360kW-Doppelmodul) erbracht.

## ■ Kälteerzeugung mit Dampfstrahl-Kältemaschinen

Der Dampfstrahlkälteprozeß ist ein thermischer Kälteprozeß, bei dem Wasser als Kältemittel verwendet wird. So kann auf eine Trennung von Kälteprozeß und Fernwärme-, Dampf- bzw. Kälte- sowie Rückkühlsystemen verzichtet werden. Anstelle von Wärmetauschern können Mischkondensatoren und Entspanner (Flashverdampfer) verwendet werden. Ebenso kann ein Dampfstrahlverdichter direkt an das Dampfnetz angeschlossen werden. Bei einem geschlossenen Dampfstrahlkälteprozeß wird die Peripherie durch Wärmetauscher getrennt. Mit offenen oder halboffenen Dampfstrahlkälteprozes-

sen werden niedrigere Investitionskosten und ein höheres Wärmeverhältnis erreicht.

Typische Anwendungen für Dampfstrahlkältemaschinen waren bisher zur Prozeßkühlung in der chemischen Industrie anzutreffen. Zur Zeit wird dieses Verfahren im Rahmen eines BMWi-Demonstrationsprojektes in Gera an die klimatechnischen Anforderungen angepaßt.

## ■ BHKW - Modul mit Wasser-NH<sub>3</sub>-AKM

Mit dieser Kältemaschine (Arbeitsstoffpaar Wasser-NH<sub>3</sub>) sollen insbesondere Tieftemperaturanwendungen für die KWKK bis -60° C abgedeckt werden. Zur Zeit wird eine zweistufige Demonstrationsanlage am ILK Dresden im Technikums-Maßstab betrieben. Im industriellen Bereich soll der Schwerpunkt der Einsatzmöglichkeiten bei den einstufigen Maschinen liegen, wobei das Temperaturniveau des Heizmediumvorlaufes 130° C beträgt. Für niedrigere Heizmediumtemperaturen muß auf den anlagentechnisch aufwendigeren zweistufigen Prozeß ausgewichen werden.

Die Kältemaschine zeichnet sich insbesondere durch

- geringe Ammoniakfüllmengen,
- kleine Baugröße und
- einen hohen thermischen Wirkungsgrad aus.

Für die bei der Tiefkühlung erforderlichen Temperatur von -10° C bis -28° C sind beim einstufigen Prozeß Heizmitteltemperaturen >100° C notwendig. Diese Temperaturen können bei BHKW nur über den Abgaswärmetauscher erzielt werden, so daß die eigentliche Motorabwärme ungenutzt bleibt. Durch Einsatz eines zweistufigen Prozesses sind nur 80° bis 95° C erforderlich, so daß die Wärme besser genutzt werden kann. Das Wärmeverhältnis verschlechtert sich allerdings beim zweistufigen Prozeß (0,32 gegenüber 0,57 bei -10° C Verdampfertemperatur)

## ■ Abwärmebetriebene Wasser-LiBr-AKM

Im Rahmen eines Demonstrationsprojektes im Ariake Minami Plant wird von der Tokyo Water Front District Heating&Cooling Corp. zur Kälteerzeugung eine neu entwickelte abwärmeangetriebene AKM mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser-LiBr eingesetzt. Es handelt sich dabei um eine Double-Lift-Absorptionskältemaschine, die dem SE/DL-Konzept ähnelt, mit internem Wärmetausch. Mit ihr können bei Heizmitteleintrittstemperaturen von 60° C und Kühlwassereintrittstemperaturen von 25° C noch Kaltwasser von 7° C bereit werden. Die Maschine erreicht unter diesen Bedingungen einen COP von 0,53.

Ein Demonstrationsprojekt (Ariake Minami Plant) wurde im Zeitraum 3/96 bis 3/98 betrieben.

### Neuentwicklungen für die KWKK

#### ▶ SE-DL-Absorptionskältemaschine mit Wasser-LiBr (Fa. Entropie, ZAE-Bayern, GEA Happel, Deutschland/Frankreich)

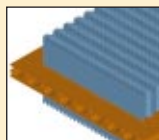
- Senkung von Rücklauftemperaturen und Heizmitteltemperaturniveaus
- Erhöhung der Temperaturspreizung bei AKM
- Verbundforschungsprojekt gefördert vom BMWi (FKZ 0326978 A-C)



SE-DL-Absorber (Fa. GEA Happel)

#### ▶ Adsorptionskältemaschine mit Wasser-Silicagel mit interner Sorptionswärmrückgewinnung (Fa. GBU)

- COP = 0,8
- Für Antriebstemperaturen zwischen 50° und 100° C
- Kaltwassertemperaturen von 2° C realisierbar
- Modularer Aufbau von 10 kW bis 1 MW
- Kostenziel ca. 500 DM/kW<sub>th</sub>
- gefördert vom BMWi (FKZ 0326994A)



Optimierter Plattenwärmetauscher mit optimierter hexagonaler Rippenstruktur

#### ▶ Dampfstrahlkältemaschine (Fraunhofer UMSICHT, GEA Wiegand, G.A.S., Deutschland)

- Reduktion der Investitionskosten, einfache und robuste Anlagen technik
- Wasser als Arbeitsmittel
- Erhöhung des jahresmittleren COP auf 1 bei ganzjähriger Kälte last
- Einsatz bis -5° C
- Verbundforschungsprojekt gefördert vom BMWi (FKZ 0327205 A-D)



Dampfstrahlkältemaschine in Gera

#### ▶ BHKW-Modul mit Wasser-NH<sub>3</sub>-AKM (Fa. EES, ILK Dresden, Deutschland)

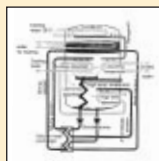
- KWKK für Tieftemperaturanwendungen (Tiefkühlung, Lagerhaltung)
- einstufig (SE) für Heizwasserlauftemperaturen > 130° C
- zweistufig (DL) für Heizwasser-temperaturen < 95° C
- gefördert vom BMWi (FKZ 0326988C, Bestandteil des Verbundforschungsprojekts FKZ 0326988 A-C)



Wasser-Ammoniak-AKM in Köthen

#### ▶ Abwärmebetriebene Wasser-LiBr-AKM (DL mit internem Wärmetausch; Fa. Yazaki-Corp., Japan)

- Kälteerzeugung mit Heizmitteleintrittstemperaturen von 60° C
- Nutzung von Abwärme, die schon von einer AKM genutzt wurde
- Nutzung von Wärme von Solarkollektoren
- Nutzung von Abwärme von KWK-Anlagen



Schematische Darstellung

# Perspektiven

*Angesichts sinkender Energie- und Strompreise und teilweise gesättigter Märkte für anlagentechnische Produkte werden neue Energiedienstleistungsangebote zunehmend bedeutsam.*

Die Liberalisierung der Energiemärkte wird zu einer nachhaltigen Verschiebung der anlegbaren Kältepreise durch preiswerteren Strom führen. Die bisherige Struktur von Arbeits- und Leistungspreisen wird möglicherweise von „terminierten Kilowattstunden“ abgelöst werden. Die Rahmenbedingungen für die Kraft-Wärme-Kopplung bzw. Fernwärme und damit auch der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung werden sich entscheidend verändern. Dem Nachteil sinkender Kältepreise stehen die Vorteile einer höheren Flexibilität aufgrund freier Energiemärkte gegenüber.

Unternehmen mit Kältebedarf können sich vollständig von der Investition entlasten – Energiedienstleister profitieren direkt von energieeffizienten Konzepten, wozu auch die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung zählt. Anwendungschancen hat die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung insbesondere auch bei Industrieunternehmen, die sich lokal zu einem Energieverbund zusammenschließen.

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung bedingt ein komplexes Zusammenwirken von Erzeugungs-, Transport- und Nutzersystemen. Bei der Auslegung sind die gesamten Wechselwirkungen und die Dynamik von Gebäude, Heizungstechnik, Klimatechnik etc. zu berücksichtigen. Die Kälteerzeugung und -versorgung wird integraler Bestandteil der Versorgung mit Strom, Wärme und Kälte. Dies stellt höhere Anforderungen an die Planung als herkömmliche, spartenbezogene Lösungen. Innovative Konzepte versprechen jedoch erhebliche wirtschaftliche Vorteile, die den höheren Planungsaufwand rechtfertigen.

Es ist davon auszugehen, daß die skizzierten Technologieentwicklungen die Marktchancen von energieeffizienten Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplungsanlagen nachhaltig verbessern werden.

## Service

### Adressen:

Eine Adreßliste der beteiligten Firmen und Institutionen ist bei BINE abrufbar

### Zusatzinformationen:

Zu einzelnen Projekten können bei BINE weitere, ergänzende Informationen angefordert werden

### Literatur:

Der Statusbericht Fernwärme 1997 des Projektträgers BEO (226 S.) ist bei BINE gegen Einsendung eines Verrechnungsschecks von DM 40,- erhältlich. In dem Bericht werden die Forschungsvorhaben 0326978 A-C und 0326988 A-C sowie weitere Fernwärmeprojekte ausführlich vorgestellt

## Projektorganisation

### Förderung der Vorhaben

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi),  
Godesberger Allee 185, 53175 Bonn

### Projektbegleitung im Auftrag des BMWi

Projektträger Biologie, Energie, Ökologie (BEO)  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
52425 Jülich

### Projektadressen und Förderkennzeichen

FKZ 0326978 A-C:

ZAE Bayern e. V., Garching; BEWAG AG,  
Berlin; Stadtwerke Düsseldorf

FKZ 0326988 A-C:

Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen;  
PEF Planungsbüro Energie und Fernwärme,  
Berlin; Stadtwerke Weißwasser

FKZ 0326994A:

GBU, Dresden

FKZ 0327205 A-D:

GEA Wiegand, Etlingen; Energieversorgung  
Gera; G.A.S. Energietechnik, Krefeld;  
Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen

## Impressum

### ISSN

1436-2066

### Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,  
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische  
Information mbH,  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig mit vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares. Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung des jeweils Berechtigten.

### Autor

Ingo Schönberg, MVV Consulting;  
Peter Noeres, Fraunhofer UMSICHT

### Redaktion

Johannes Lang

### Kontakt

Weitere Informationen zu diesem Thema erhalten Sie bei dem Informationsdienst BINE. Wenden Sie sich an die untenstehende Adresse, wenn Sie vertiefende Informationen, spezielle Auskünfte, Adressen etc. benötigen, oder wenn Sie allgemeine Informationen zum energie- und umweltgerechten Planen und Bauen wünschen.



**BINE**

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe

Meckenstraße 57, 53129 Bonn

Tel. 0228 / 9 23 79 0

Fax 0228 / 9 23 79 29

eMail bine@fiz-karlsruhe.de