

Stand und Tendenzen

der thermischen Kälteerzeugung im kleinen und mittleren Leistungsbereich

Dr.-Ing. Mathias Safarik, Lutz Richter, Peter Albring, Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden



Dr.-Ing. Mathias Safarik, Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden.

Der Energiebedarf zur Kühlung bzw. Klimatisierung von Wohn- und Arbeitsbereichen nimmt weltweit stark zu. Dies ist auf steigende interne Lasten durch elektrische Geräte, die dynamische wirtschaftliche Entwicklung südlicher Regionen, höhere Komfortansprüche der Gebäudenutzer sowie architektonische Trends (Zunahme des Anteils verglaster Fassaden) zurückzuführen.

Im Lebensmittelbereich kann ebenfalls von einer Zunahme des Kältebedarfs ausgegangen werden, da der Anteil der Tiefkühlware im Groß- und Einzelhandel stetig wächst.

Gegenwärtig wird der steigende Kältebedarf im Wesentlichen durch elektrisch angetriebene Kompressionskältemaschinen (KKM) gedeckt, was zu einem Anstieg der Kohlendioxidemissionen infolge der notwendigen Stromerzeugung aus überwiegend fossilen Energieträgern führt.

Der stark ausgeprägte tageszeitliche Verlauf des Klimakältebedarfs führt außerdem zu einer Lastspitze in der Stromversorgung, die zu einer hohen Belastung und teilweisen Aus-

fällen der Stromversorgungsnetze einiger Regionen im Sommer führen kann.

Insbesondere im Klimakältebereich werden zudem Kältemittel mit einem hohem Treibhauspotenzial (GWP) verwendet, die infolge Leckageverlusten den anthropogenen Treibhauseffekt verstärken. Im asiatischen Raum wird R22 als Ersatzstoff für die inzwischen verbotenen FCKW eingesetzt, welches zwar weniger ozonschädigend ist (0,055-fach gegenüber R 11), aufgrund der stark steigenden Produktionszahlen aber trotzdem zum Abbau der Ozonschicht beiträgt und zusätzlich ein hohes Treibhauspotential besitzt [1].

In vielen Bereichen der Klima- und auch der Prozesskälteerzeugung bieten mit Wärme angetriebene Absorptionskältemaschinen (AKM) eine sinnvolle Alternative, um den

genannten Problemen nachhaltig zu begegnen.

Absorptionskältemaschinen werden mit Wärme angetrieben und benötigen daher eine kostengünstige Wärmequelle geeigneter Temperatur. Das notwendige Temperaturniveau der Antriebswärme ergibt sich im Wesentlichen aus der Temperatur der Kälteanwendung und der Rückkühlung. Die apparative Ausführung, die Auswahl des Kreisprozesses sowie das verwendete Arbeitsstoffpaar beeinflussen ebenfalls das notwendige Temperaturniveau der Antriebswärme wie auch die Effizienz des Prozesses.

In Abbildung 1 sind die minimal erforderlichen Antriebs Temperaturen einer Absorptionskältemaschine mit dem Stoffpaar Wasser/LiBr bzw. Ammoniak/Wasser sowie die erreichbaren Wärmeverhältnisse dargestellt.

Darüber hinaus beeinflussen alle drei externen Temperaturniveaus die Kälteleistung einer gegebenen AKM. Dieser wesentliche Unterschied zur Kompressionskälteanlage (hier größere Änderung der Leistungszahl, aber weniger der Leistung bei geänderten Temperaturen) muss bei der Planung von AKM-Systemen berücksichtigt werden. Beispielfhaft ist in Abbildung 2 die Kälteleistung eines im ILK vermessenen Versuchsmusters einer Wasser/LiBr Kälteanlage dargestellt. Abbildung 3 zeigt beispielhaft den Verlauf des Wärmeverhältnisses in Abhängigkeit der Heiz- und Kaltwassertemperatur.

In Sorptionskälteanlagen kommt stets ein Arbeitsstoffpaar, bestehend aus Kältemittel (KM) und Sorptionsmittel zur Anwendung. Klassische Arbeitsstoffpaare in konti-

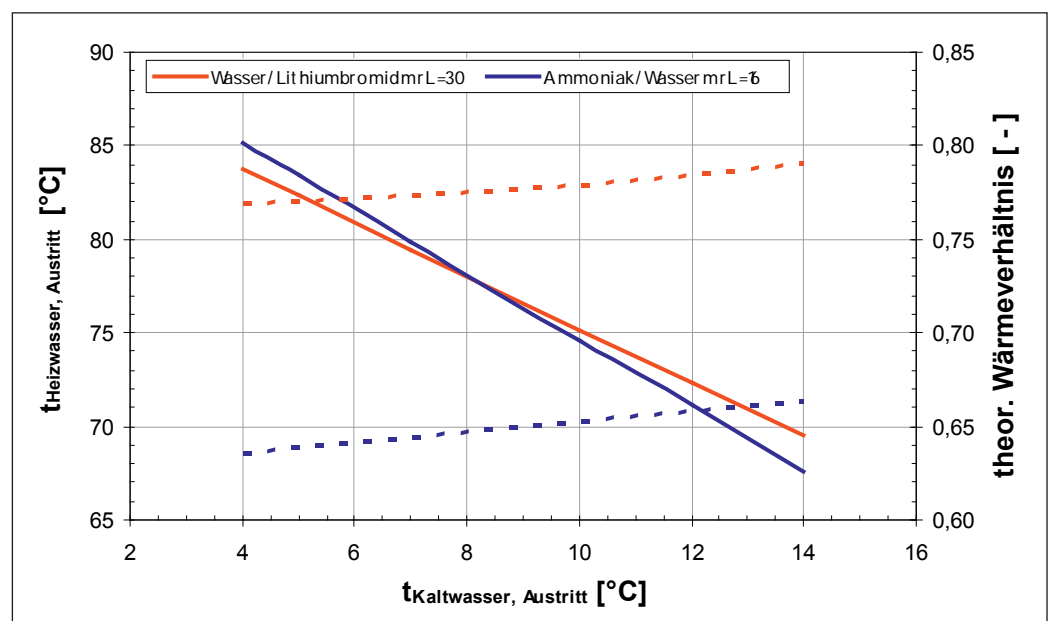


Abbildung 1: Erforderliche Heizwassertemperatur (durchgezogen) und Wärmeverhältnis (gestrichelt) von Wasser/LiBr und Ammoniak/Wasser AKM in Abhängigkeit der Kälteerzeugeraustrittstemperatur; RB: Kühlwassertemperatur: 27°C; rL – relativer Lösungsstrom (Auslegungsparameter).

nuerlich arbeitenden Absorptionskälteanlagen sind Wasser(KM)/Lithiumbromid für Klimakälteanwendungen und Ammoniak(KM)/Wasser. Die natürlichen Kältemittel Wasser und Ammoniak besitzen hervorragende thermodynamische und ökologische Eigenschaften und sind damit bezüglich der Kältemitteldiskussion zukunftssicher.

In diskontinuierlich arbeitenden Adsorptionskälteanlagen werden die Feststoffe Silikagel oder Zeolith als Sorptionsmittel für das Kältemittel Wasser eingesetzt. Durch die Nutzung mehrerer Kammern, die zeitlich versetzt genutzt werden, wird ein quasikontinuierlicher Betrieb von Adsorptionskälteanlagen erreicht.

Die energetische Bewertung thermischer Kälteanlagen erfolgt durch das Wärmeverhältnis (ξ , zetta), dem Quotienten aus Kälteleistung und thermischer Antriebsleistung. Diese, im englischen auch als COP bezeichnete Kennzahl, ist nicht mit der Leistungszahl (ϵ , epsilon) elektrisch angetriebener Kältemaschinen (engl.: COP) vergleichbar, dem Quotienten aus Kälteleistung und Strom bzw. mechanischer Energie. Der Kompressionskältemaschine wird reine Exergie (Strom) zugeführt. Die Antriebswärme einer Sorptionskältemaschine enthält hingegen nur einen temperaturabhängigen Anteil an Arbeitsfähigkeit.

Strom wird bei Sorptionskälteanlagen nur zum Antrieb der internen Pumpe(n) (Strombedarf bei Wasser/LiBr-AKM ca. 0,5 bis 3 % der Kälteleistung) sowie zur Förderung der externen Medien (ggf. Heizwasser, Kühlwasser, Kaltwasser) durch die entsprechenden Anlagen-teile benötigt. Bei Anlagen kleiner Leistung sollte aufgrund der oft niedrigen Pumpenwirkungsgrade in diesem Bereich auf moderate Druckverluste und eine sorgfältige Auslegung des Gesamtkonzeptes geachtet

werden, um den Hilfsenergiebedarf zu begrenzen und eine wesentliche Einsparung elektrischer Energie zu erzielen.

Die Anwendung der Absorptionskältetechnik konzentrierte sich über Jahrzehnte auf den Bereich großer und sehr großer Kälteleistungen (ca. 400 kW bis mehrere MW) unter Nutzung industrieller Abwärme oder Abwärme aus Stromerzeugungsprozessen. In Regionen mit Kapazitätsengpässen in der Stromversorgung werden auch direkt mit Gas befeuerte Anlagen eingesetzt. Eine Nischenanwendung im Wattbereich sind gas- oder strombeheizte Absorberkühlschränke im Camping- bzw. Hotelsektor.

Die Hersteller von Absorptionskälteanlagen konzentrieren sich inzwischen fast ausschließlich in Fernost (China, Indien, Japan). In China wurden 2005 mit knapp 7000 H₂O/LiBr-AKM mehr als doppelt so viele Anlagen hergestellt wie 1998. Über 80 % der Anlagen werden direkt mit Gas beheizt angetrieben [2].

Verhinderten niedrige Preise sowie umfassende Verfügbarkeit elektrischen Stroms bisher eine breitere Nutzung thermischer Kälteanlagen in Europa, stellte sich mit langsam zunehmender Verbreitung dezentraler Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (v. a. motorische BHKW) auch im kleinen und mittleren Leistungsbereich zu-

nehmend die Frage der effizienten sommerlichen Nutzung der in diesen Anlagen produzierten Wärme. Konventionelle Absorptionskälteanlagen sind dazu jedoch nur bedingt geeignet, da übliche BHKW nur Heizwassertemperaturen von ca. 85/70 °C (VL/RL) bereitstellen.

Vorreiter auf dem Gebiet der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung im kleinen Leistungsbereich ist die Firma EAW, die seit Ende der 1990er Jahre Absorptionskältemaschinen anbietet, die speziell für den Betrieb an motorischen BHKW konzipiert sind. Die in Kooperation mit dem ILK Dresden entwickelten Aggregate können durch eine hohe Auskühlung des Heiz-

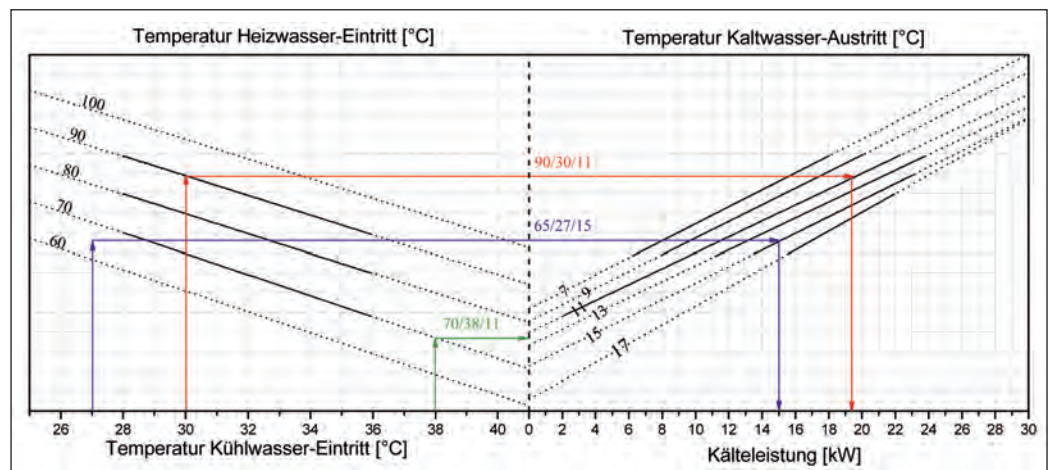


Abbildung 2: Leistungsnomogramm einer Wasser/LiBr-Absorptionskälteanlage.

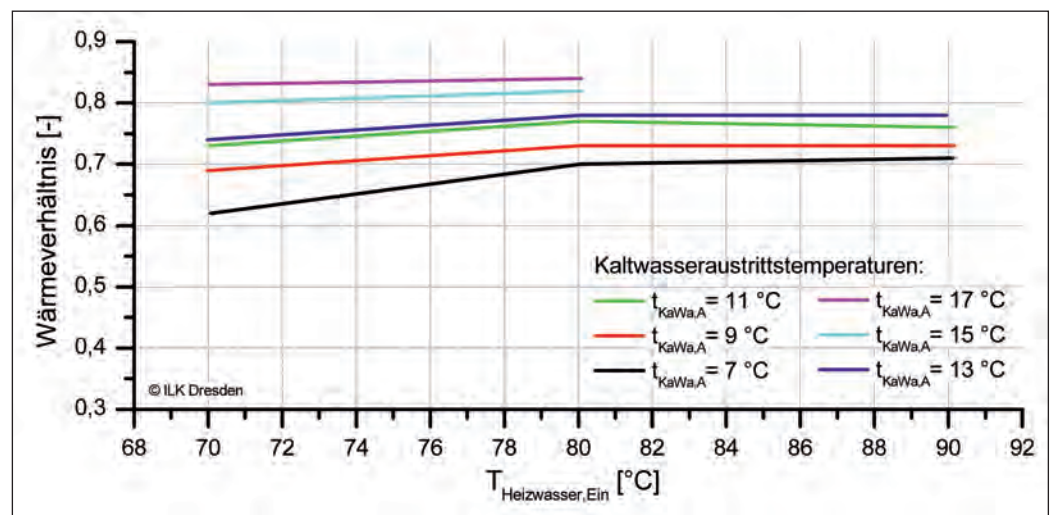


Abbildung 3: Wärmeverhältnis einer Wasser/LiBr AKM für verschiedene Heizwasserein- und Kaltwasser-austrittstemperaturen (Kühlwasser Eintritt: 30 °C).

wassers die gesamte BHKW-Abwärme effizient zur Klima- oder Prozesskältebereitstellung (6...15°C) im Kälteleistungsbereich von 10...250 kW nutzen.

Die genannten Anforderungen an Sorptionskältemaschinen zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung gleichen denen der solarthermischen Kühlung. Insbesondere solarthermische Anlagen zur Heizungsunterstützung produzieren im Sommer oft Überschusswärme, die zur Gebäudeklimatisierung genutzt werden kann. Solares Strahlungsangebot und Klimakältebedarf weisen dabei in vielen Fällen eine gute zeitliche Übereinstimmung auf, da die Sonne häufig für einen Großteil der Kältebelastung verantwortlich ist.

Zwar ist das Temperaturniveau der Solarwärme nicht prinzipiell beschränkt, doch sinkt der Wirkungsgrad der Kollektoren mit steigenden Arbeitstemperaturen. Somit steht bisher die Nutzbarkeit möglichst niedriger Antriebstemperaturen auch im Fokus der solaren Kühlung.

Nach der Realisierung erster Anlagen zur solarthermischen Klimatisierung in den 1970er Jahren findet diese Technologie seit ca. zehn Jahren wieder

verstärkt Beachtung. Bisher wird die Solarthermienutzung von Anlagen mit kleinen und mittleren Kollektorflächen dominiert, so dass von den Solarthermieherstellern Bedarf an Sorptionskältemaschinen kleiner Leistung signalisiert wurde.

Insbesondere europäische Unternehmen und Institute haben daraufhin in den letzten Jahren Entwicklungen mit verschiedenen technologischen Ansätzen gestartet.

Inzwischen gibt es eine Reihe kommerziell erhältlicher Ab- und Adsorptionskälteanlagen im Leistungsbereich 8...50 kW. Hinzu kommen zahlreiche Entwicklungen, die sich im Prototypenstadium befinden. In diesen Maschinen werden die bereits erwähnten Arbeitsstoffpaare angewendet. Ein Produkt basiert auf dem Arbeitsstoffpaar Wasser/Lithiumchlorid, das bisher nur aus offenen Anlagen der direkten Luftkonditionierung (DEC) bekannt war.

Die folgende Tabelle enthält einige in Europa erhältliche thermische Kältemaschinen kleiner Leistung ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Die meisten dieser Produkte wurden in zahlreichen

Referenzanlagen erfolgreich demonstriert und vermessen, teilweise im Rahmen des BMU-Programms Solarthermie2000plus.

Infolge der von der Bundesregierung geplanten Steigerung des Anteils an KWK-Strom sowie der verstärkten Nutzung der Solarthermie sollten sich zukünftig zahlreiche Anwendungspotenziale für thermische Kälteanlagen, auch im kleinen und mittleren Leistungsbereich erschließen. Aus ökonomischer Sicht sind Anwendungen mit möglichst hoher Betriebsdauer vorteilhaft, in denen die im Vergleich zur Kompressionskälte höheren Investitionskosten schneller durch niedrigere Betriebskosten amortisiert werden können.

Die spezifischen Kosten thermischer Kälteanlagen kleiner Leistung sind wie zu erwarten höher als bei Anlagen großer Leistung. Dies kann jedoch durch die oft höheren Stromkosten in den entsprechenden Anwendungsfällen kompensiert werden.

Neben diesen Entwicklungen im Bereich kleiner Leistungen gibt es inzwischen auch einige realisierte Anwendungen solarer Kühlung im größeren Leistungsbereich, u.a. eine

Anlage zur Klimatisierung von Büroräumen mit 1580 m² Flachkollektoren und 545 kW Kälteleistung in Lissabon oder im industriellen Bereich eine Anlage mit 700 kW Kälteleistung aus Adsorptionskältemaschinen angetrieben von 2700 m² Flachkollektoren in einer griechischen Kosmetikfabrik.

Ein interessanter Ansatz ist die Nutzung konzentrierender Kollektoren (Parabolrinnen, Fresnel-Kollektoren), die Solarwärme im Temperaturbereich größer 120°C bereitstellen können. Damit können Double-Effect Adsorptionskälteanlagen angetrieben werden, die ein Wärmeverhältnis von 1,2 erreichen. Somit lassen sich die spezifische Kollektorfläche sowie der Rückkühlaufwand reduzieren. Entsprechende Anlagen existieren u. a. in Spanien, der Türkei und China.

Konzentrierende Kollektoren sind auch geeignet, um in Verbindung mit Ammoniak/Wasser-AKM Kälte bei Temperaturen unter 0°C für Kühllager, Eiserzeugung und -speicherung usw. zu erzeugen.

Ammoniak/Wasser-AKM können dazu natürlich auch mit anderen Wärmequellen sowie KKM kombiniert werden (s.a. BHKS-Almanach 2008, S. 26ff).

Ein im Jahr 2009 gegründeter Verband Green Chiller – Verband für Sorptionskälte e.V. setzt sich für die wirtschaftliche Anwendung von Sorptionskältemaschinen ein. Ihm gehören Hersteller und auf diesem Gebiet aktive FuE-Einrichtungen an. Weitere Informationen sind auf www.green-chiller.de verfügbar. ◀

Tabelle 1: Sorptionskälteanlagen kleiner und mittlerer Leistung.

Hersteller (Land)	Modell; Nennkälteleistung – Wärmeverhältnis (bei Temperaturen von Heizwassereintritt/Kühlwassereintritt/Kaltwasseraustritt); Arbeitsstoffpaar
AGO (D)	congelato 50; 50 kW – 0,58 (95/25/-3); NH ₃ /H ₂ O
ClimateWell (S)	ClimateWell 10; 9 kW – 0,68 (70-100 ^a /30/15) ^b ; H ₂ O/LiCl
EAW (D)	Wegracal SE 15; 15 kW – 0,71 (90/30/11); H ₂ O/LiBr weitere Größen: 30, 54, 80, 140, 200, 250 kW
InvenSor (D)	ISC 10; 10 kW – 0,5 (85/27/15); H ₂ O/Zeolith
Pink (A)	chillii P5C12; 12 kW – 0,62 (85/24/6); NH ₃ /H ₂ O Vertrieb in D über Solarnext AG
Sortech (D)	ACS 08; 8 kW – 0,6 (72/27/15); H ₂ O/Silikagel weitere Größe: 15 kW
Yazaki (J)	WFC-5C 5; 17,5 kW – 0,7 (88/31/7); H ₂ O/LiBr weitere Größe: 35 kW
LiBr – Lithiumbromid; LiCl – Lithiumchlorid; NH ₃ – Ammoniak	

^a Diskontinuierlicher Prozess, bei dem Antriebswärmeeintrag (Beladung) und Kälteerzeugung (Entladung) zeitlich entkoppelt ablaufen (können).

^b Werte beispielhaft aus Kennblatt entnommen

¹ UNEP (Umweltprogramm der Vereinten Nationen): http://www.unep.org/ozonaction/topics/hcfc_qa.htm#production

² Guangming Chen, Yijian He: The latest progress of absorption refrigeration in China. Proc. Intern. Congress of Refrigeration, 2007, Beijing

COFELY

MACHT DEN ROTSTIFT GRÜN.

Einsparungen durch effizientere Energienutzung sind in aller Munde. Wir realisieren sie jeden Tag für unsere Kunden. Mit ganzheitlichen Lösungen für Gebäude- und Anlagentechnik, Kältetechnik, Energy Services und Facility Services verwandeln wir Kosten in nachhaltige Erfolge für Ihr Unternehmen und die Umwelt. Damit Sie Ihre Energie noch besser einsetzen können.

Axima heißt jetzt Cofely – alle Infos zur Umstellung auf www.cofely.de

ANLAGENTECHNIK

ENERGY SERVICES

FACILITY SERVICES

REFRIGERATION

ENERGIEN OPTIMAL EINSETZEN.

COFELY
GDF SUEZ