



Mit Wärme kühlen

Eine neue Generation kompakter Kältemaschinen kühlt und heizt mit Niedertemperaturwärme



BINE
Informationsdienst

Der ökonomische und ökologische Erfolg vieler Kraft-Wärme-Anlagen, Fernwärmenetze und großer Solaranlagen steht und fällt mit dem Absatz der Wärme außerhalb der Heizperiode. Ein zunehmend interessanter Markt für Niedertemperaturwärme ist die Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden sowie die Erzeugung von Prozesskälte mit thermisch angetriebenen Kältemaschinen. Wissenschaftler aus Berlin und Bayern haben eine neue Generation besonders kompakter, effizienter Absorptionskältemaschinen kleiner Leistung für den Kühl- und Heizbetrieb entwickelt.

„Absorptionskälteanlagen sind nicht kleinzukriegen“. Mit dieser doppeldeutigen Aussage beschreiben Klimatechniker zum einen die Robustheit, aber auch die oft ausladenden Dimensionen der Aggregate. Hierdurch ist eine nachträgliche Installation in Kellern oft nicht oder nur mit hohem Aufwand möglich. Zudem sind die meisten der im Handel erhältlichen Absorptionskältemaschinen auf hohe Leistungsbereiche ab etwa 300 kW ausgelegt – zu groß für den dezentralen Einsatz in vielen Gebäuden.

In einem Forschungsprojekt der Technischen Universität Berlin in Kooperation mit der Vattenfall Europe Wärme AG haben Wissenschaftler der Universität gemeinsam mit dem ZAE Bayern und weiteren Partnern aus Forschung und Industrie das Leistungsspektrum nach unten erweitert. Im Fokus standen neben Gewicht und Abmessungen auch der Abbau weiterer Hemmnisse für den Einsatz von Absorptionskältemaschinen. So sind heute verfügbare Systeme vergleichsweise teuer und

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom:

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

stellen hohe Anforderungen an die Rückkühlung. Verbessern wollten die Forscher auch die Temperaturspreizung der Antriebswärme. In vielen Kältemaschinen, die Fernwärme nutzen, kühlt der Wärmeträger um lediglich etwa 10 °C ab. Ein Großteil nutzbarer Wärme auf sehr gut nutzbarem Temperaturniveau zirkuliert somit unnötig und erfordert zudem hohe Pumpleistung.

Biene und Hummel – zwei Musteranlagen

Eine 50 kW Anlage, von den Forschern „Biene“ genannt, hat mittlerweile umfangreiche Tests bestanden und anschließende Optimierungsarbeiten durchlaufen. Zwei dieser Anlagen befinden sich seit Mitte 2011 in der praktischen Gebäudeerprobung. Aufbauend auf den Erfahrungen mit Biene entstand in Folge die größere „Hummel“ mit 160 kW Kälteleistung. Auch sie hat bereits erste Tests durchlaufen und erfüllt mit 168 kW im Nennbetriebspunkt die Anforderungen.

Die einstufigen Absorptionskälteanlagen (AKA) arbeiten mit Wasser als Kältemittel und Lithiumbromid als Absorbens. Bei dieser Stoffpaarung reichen Antriebstemperaturen, wie sie von Fernwärmesystemen und Solaranlagen angeboten werden. Es lassen sich Kaltwassertemperaturen bis etwa 5 °C erzeugen. Die Kältemaschinen können bei geeigneter Einbindung in das Heizsystem auch als Wärmepumpe für die Gebäudeheizung arbeiten. Anders als die meisten bisher marktverfügbaren AKA sind Biene und Hummel modular als Zweibehältersysteme aufgebaut. Bei schwierigen Transportwegen können sie zerlegt transportiert und vor Ort zusammengesetzt werden. „Wir haben aber nicht alleine die Türgängigkeit und ein niedriges Transportgewicht angestrebt“, erläutert Projektleiter Stefan Petersen, „Entwicklungsziele sind auch möglichst niedrige Investitions- und Betriebskosten bei hoher Systemeffizienz.“

Auf dem Teststand

Von Ostern 2010 bis Ende 2011 leistete ein erstes Funktionsmuster der 50 kW Anlage ca. 8.000 Betriebsstunden auf dem Teststand der TU Berlin. Die Kältemaschine kann über einen Temperaturbereich von 55 °C bis über 100 °C mit stark variierenden Volumenströmen betrieben werden. Dies ist von besonderer Bedeutung für den Einsatz in Fernwärmenetzen. Zum einen geben unterschiedliche Fernwärmenetze konkrete Randbedingungen bezüglich Temperaturniveau und verfügbarem Volumenstrom vor. Diese werden von der Anlage allesamt erreicht. Zum anderen kann eine Volumenstromminderung bei Teillast die Rücklauftemperatur ins Fernwärmenetz optimieren.

Mit bisher marktverfügbaren Systemen erfolgt die Leistungsregelung über die Variation der Eintrittstemperatur des Antriebs. Die neuen Anlagen erlauben zusätzlich 3 weitere Optionen. Reduziert man beispielsweise den Volumenstrom der Fernwärme von 0,9 l/s auf 0,6 l/s, so mindert sich über den gesamten Lastbereich die Kälteleistung um lediglich 10 %. Die Spreizung der Antriebstemperatur erhöht sich aber um 35 %. Mit variablem Volumenstrom kann das gesamte Leistungsband zwischen 50 und 10 kW bei konstanter Temperaturspreizung angefahren werden. So erschließt sich ein neues Potenzial vor allem in der Kopplung zwischen Motor-BHKW und Absorptionskälteanlage. Im solaren Betrieb kann die Kälteanlage auch bei niedriger Einstrahlung über die Volumenstromvariation in Betrieb gehalten und dadurch die solare Deckung vergrößert werden. Die beiden anderen Optionen berücksichtigen die Regelung der Kühlwassertemperatur

Kenndaten

| | Biene | Hummel |
|----------------------------------|-------|--------|
| Kälte-Nennleistung [kW] | 50 | 160 |
| Heizleistung [kW] | 63 | 202 |
| Kühlturnleistung [kW] | 113 | 362 |
| COP | 0,79 | 0,79 |
| Kaltwasser | | |
| Eintrittstemperatur [°C] | 21 | 21 |
| Austrittstemperatur [°C] | 16 | 16 |
| Volumenstrom [m ³ /h] | 8,5 | 27,7 |
| Heizwasser | | |
| Eintrittstemperatur [°C] | 90 | 90 |
| Austrittstemperatur [°C] | 72 | 72 |
| Volumenstrom [m ³ /h] | 3 | 9,7 |
| Kühlwasser | | |
| Eintrittstemperatur [°C] | 30 | 30 |
| Austrittstemperatur [°C] | 37 | 38 |
| Volumenstrom [m ³ /h] | 14,4 | 39 |

Abb. 1 Biene und Hummel im Vergleich. Quelle: TU Berlin

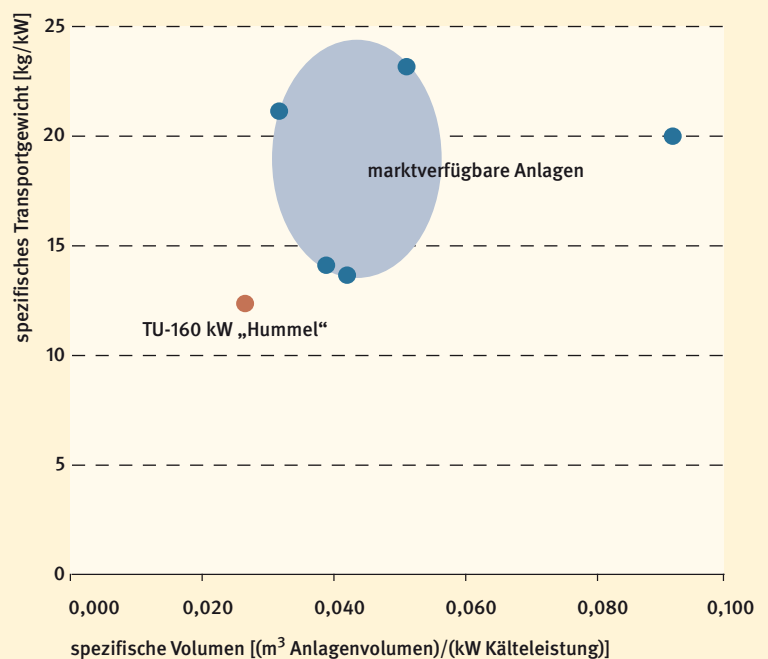


Abb. 2 Marktverfügbare Absorptionskältemaschinen sind schwerer und voluminöser als die neuen Baumuster. Quelle: TU Berlin

und des Volumenstroms. Dies dient vor allem der Reduzierung der Nebensstromverbräuche.

Rückkühlung

Die Kälteleistung der Anlage hängt wie bei allen Kälteanlagen von möglichst niedrigen Rückkühlungstemperaturen ab. Bisher galten rund 40 °C als oberer Grenzwert für den Betrieb. Durch konsequente Vermeidung von Wärmebrücken auf der Prozessseite und ein neuartiges Layout der Wärmeübertrager erzielt die Anlage sehr gute Wärmeverhältnisse (COP) auch bei hohen Rückkühltemperaturen von bis zu 50 °C. Die Erweiterung dieser Grenze in Verbindung mit dem durchgängig höheren COP ermöglicht nun in Mittel- und Nordeuropa auch den Einsatz von trockenen Rückkühlwerken.

Abb. 3 stellt den Zusammenhang zwischen der Kühlwassertemperatur, dem Volumenstrom und der Kälteleistung dar. Die Kälteleistung erreicht bei ca. 25 %

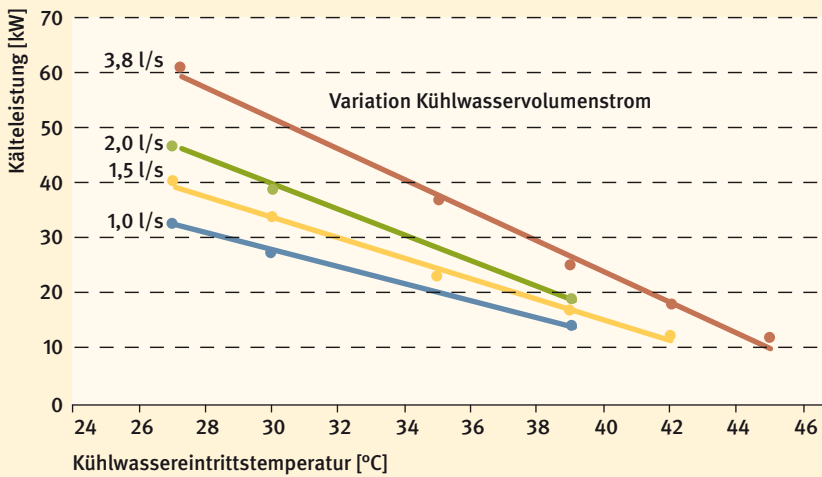


Abb. 3 Kälteleistung in Abhängigkeit von der Kühlwassereintrittstemperatur.
Quelle: TU Berlin

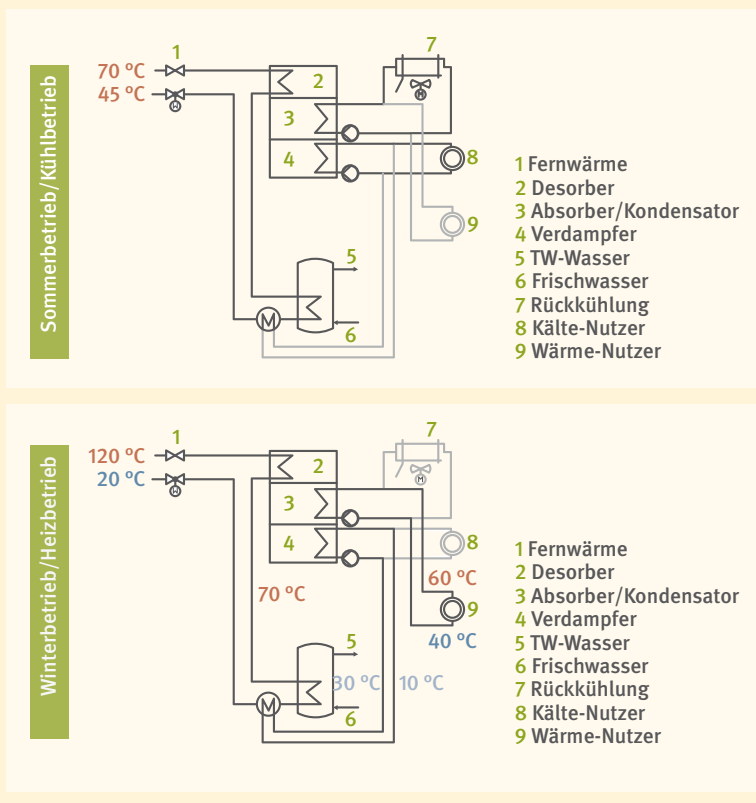


Abb. 4 Sommer- und Winterbetrieb. Quelle: TU Berlin

des Volumenstroms bei konstanter Kühlwassereintrittstemperatur noch immer ca. 60 % der Basisleistung. Gleichzeitig reduzieren sich aber die hydraulischen Aufwendungen im Rückkühlkreis um bis zu 98 %. Die Forscher sehen darin die Grundlage für neue effiziente Regelungsstrategien, um bei einer vorgegebenen Kühllast Antriebswärme und Nebenverbräuche zu optimieren.

Kühlen im Sommer und Heizen im Winter

Eingebunden in die Wärmeverteilung können die Kältemaschinen auch als Wärmepumpe für die Gebäudeheizung arbeiten – beispielsweise im klassischen Einsatz mit Sole aus Erdwärme oder Solarkollektoren. Ist bei aktuellen marktverfügbaren Systemen dieser Art die Nutzwärme bisher auf ca. 45 °C beschränkt, können Biene und Hummel Ab- bzw. Nutzwärme bei bis zu 60 °C zur Verfügung stellen. Besonders für die effizientere Nutzung von Fernwärmesystemen sehen die Forscher große Potenziale. Eine mögliche Verschaltung

zeigt Abb. 4. Bisher ist es üblich, über 2 getrennte Fernwärmeschlüsse Kälte im Sommer und Wärme im Winter bereitzustellen. Während im Sommer die Kälteanlage neben dem Trinkwarmwasser die Rücklaufstemperatur ins Fernwärmenetz bestimmt, ist im Winter der Rücklauf auf Temperaturen oberhalb der Heiznetzrücklaufstemperatur des Gebäudes beschränkt und daher häufig oberhalb von 50 °C.

Durch die neuen Anlagen kann die sommerliche Kälteanlage im Winter als Wärmepumpe betrieben werden und z. B. den Fernwärmerücklauf auf Temperaturen deutlich unterhalb der Heiznetztemperaturen auskühlen. Dabei gilt, dass die Auskühlung der Fernwärme am Desorber ca. 55 % und am Verdampfer ca. 45 % ohne Trinkwasser-Erwärmung beträgt, durch integrierte Warmwasserbereitung lässt sich die Auskühlung sogar noch erhöhen. Einsparungen ergeben sich vor allem für den Pumpenstrom im Fernwärmesystem. Bei gleicher thermischer Last im Winter ließe sich dieser durch die neuen Systeme um 40 % verringern. Durch die verringerte Rücklaufstemperatur verbessert sich ebenfalls der elektrische Wirkungsgrad der Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen im Fernwärme-Verbund.

Praxiserprobung

Seit Mitte 2011 werden zwei Musteranlagen der ersten 50 kW Anlage praktisch erprobt. Als erstes Objekt wurde ein Bürogebäude eines Energieversorgers in Berlin mit der Absorptionskälteanlage ausgestattet. Standortbedingt liegen dort im Sommer ca. 75 – 80 °C Fernwärme-Vorlaufstemperatur an. Die Liegenschaft hat einen Spitzenbedarf von ca. 42 kW Kälte. Für die Rückkühlung wurde die Kälteerzeugungsanlage mit einem Tischkühlergerät mit 102 kW Nennleistung bei Auslegungsbedingungen konzipiert. Seit Juni 2011 ist die Anlage kontinuierlich in Betrieb. Sie erzeugt Kälte zur entfeuchtungsfreien Kühlung der Büroräume, indem das Heizungsverteilnetz im Sommer zur Verteilung der Kälte mit ca. 16 °C genutzt wird.

Aufgrund des kühlen Sommers 2011 konnte das System seine Vollastfähigkeit bisher nur vereinzelt unter Beweis stellen. Während eines dreimonatigen Dauerbetriebes erreichten die Spitzenlasten witterungsbedingt lediglich ca. 15 kW und die mittlere Last etwa 6 kW. Dabei lagen die Nebenstromverbräuche für die Rückkühlung, Pumpen, etc. unter 6 % der Kältelast. In dieser Erprobungsphase hat sich die Anlage insbesondere in Bezug auf das Teillast- / Schwachlastverhalten bewährt. Ein weiteres Modell der 50 kW Anlage kühlt in Dessau einen Hörsaal und das Rechenzentrum des Umweltbundesamtes. Die Antriebswärme liefert eine Solaranlage (216 m² Heat Pipe Kollektoren (Absorberfläche)) in Verbindung mit Fernwärme als Backup. Das Backup System garantiert Temperaturen von ca. 60 °C zur Deckung von 25 – 35 kW Kälte in Verbindung mit einem hybriden Rückkühlwerk. Versorgt wird ein Kältenetz auf 9 °C Betriebstemperatur. Die Forscher konnten einen störungsfreien Betrieb bei nur 55 °C Antriebstemperatur nachweisen.

Gegenüber der Vorgängeranlage reduzierten sich der Wärmeeinsatz um ca. 40 %, die spezifischen Nebenstromverbräuche um 60 % und der Primärenergieeinsatz um ca. 50 %. Weitere Einsparungen haben sich die Forscher für 2012 zum Ziel gesetzt. Sie wollen durch die Optimierung des Anlagenbetriebs den Primärenergieeinsatz um 70 % gegenüber der Altinstallation senken.



Der Markt ist da

Europaweit steigt der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung am Wärme-, Kälte- und Strommarkt. Mit Förderrichtlinien unterstützen EU, Länder und Kommunen diesen Trend, um ihre Klimaschutzziele zu erreichen. Fernwärme deckt in einigen europäischen Ländern wie Deutschland, Schweden, Dänemark oder Finnland mehr als 25 % des Heizenergiebedarfs. Viele der Fernwärmenetze sind aber in den Sommermonaten schwach ausgelastet. Gleichzeitig wächst der Markt der Gebäudeklimatisierung um rund 15 % jährlich. Absorptionskältemaschinen können das Wärmeangebot und den Kältebedarf zusammenführen. Sie arbeiten lautlos, nahezu verschleißfrei und wartungsarm. Der thermische Wirkungsgrad (COP) ist vergleichsweise gering. Dennoch lohnt der Einsatz bei der Verwertung von Überschusswärme, die ansonsten ungenutzt bliebe. Bei hoher Anlagenauslastung können dann günstige Betriebskosten erreicht werden. Alle profitieren: Der Fernwärmeanbieter erschließt neue Märkte und der Betreiber der Kältemaschine erhält eine billige, zuverlässige und ökologisch sinnvolle Antriebsenergie. Das Haupthindernis für die Sorptions-Kühlung durch Fernwärme ist bisher eine eingeschränkte Produktpalette mit gegenüber Kompressionskälte höheren Kältegestehungskosten. Mit den neu entwickelten Aggregaten dürfte sich diese erweitern. Für das Serienprodukt haben sich die Projektpartner hohe Ziele gesetzt: Gegenüber vergleichbaren Systemen wollen sie die investitionsbezogenen Kältekosten halbieren bis dritteln, die elektrische Effizienz soll sich verdoppeln und die Kältegestehungskosten konkurrenzfähig werden. Die neue Kälteerzeugungsanlage kann die Investitionskosten in dieser Leistungsklasse erheblich senken. Ziel sind Anlagen im Leistungsbereich von 50 – 320 kW mit Investitionskosten von bis zu 200 – 240 €/kW. Mit einer breit angelegten Feldforschung wollen die Forscher weitere Erkenntnisse über die Anlagen, vor allem im Systemverbund, sammeln. Im Herbst 2012 soll das Projekt im Rahmen des BMWi Forschungsprogramms EnEff:Wärme starten, bei dem 15 Installationen bundesweit über fünf Jahre vermessen werden sollen. Kooperationspartner sind die AGFW, der BHKS sowie weitere wissenschaftliche Partner. In Zusammenarbeit mit den Betreibern und Fernwärmeversorgern wollen die Wissenschaftler die Möglichkeiten neuester Absorptionskältetechnik zeigen und Daten für die Optimierung und eine spätere Markteinführung gewinnen.

Projektbeteiligte

- » Technische Universität Berlin, Stefan Petersen, stefan.petersen@tu-berlin.de
- » Vattenfall Europe Wärme AG, Berlin, Roland Hellmer, roland.hellmer@vattenfall.de
- » Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung (ZAE Bayern), Garching, Stefan Natzer, natzer@muc.zae-bayern.de

Links und Literatur

- » Naß, S.; Lanser, W.; Petersen, S.; Ziegler, F. u. a.: Einfluss thermischer Kälteerzeugung auf den Einsatz von KWK-Anlagen in Fernwärmenetzen. In: Technische Universität Graz. Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation (IEE) (Hrsg.): 11. Symposium Energieinnovationen. Graz (Österreich), 10. – 12. Febr. 2010
- » Petersen, S.; Hansske A., Hennrich C. u. a.: Development of a 50 kW absorption chiller. In: International Institute of Refrigeration, Paris (France) (Hrsg.): 23rd IIR International Congress of Refrigeration. Refrigeration for Sustainable Development. Prague (Czech Republic), 21. – 26. August 2011. Proceedings. S. 3335ff

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen und Links.
- » BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Projektorganisation

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW) i
11019 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Carsten Magaß
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0327460A,B

Impressum

ISSN
0937 - 8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe GmbH · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Dr. Franz Meyer

Titelbild
TU Berlin

Urheberrecht
Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
Tel. 0228 92379-0
Fax 0228 92379-29
kontakt@bine.info
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages