projektinfo 10/05

BINE
Informationsdienst

Kältespeicher in großen Kältenetzen

- Fernkältenetz in Chemnitz wird optimiert
- Nachrüstung mit Kältespeicher wirtschaftlicher als mit Kompressionskältemaschinen
- Stadtwerke planen Kältespeicher für das Jahr 2006

Abb 1

Fernkältetrasse in Chemnitz. Links das Betriebsgebäude der Zentralen Kälteversorgung, im Hintergrund der Schornstein des Heizkraftwerks.

In den letzten Jahren stieg der Energieverbrauch für die Klimatisierung von Gebäuden in Deutschland stark an. Ursachen sind der zunehmende Glasanteil bei Fassaden, steigende innere Wärmelasten und höhere Komfortansprüche der Gebäudenutzer. Bisher werden für die aktive Gebäudeklimatisierung hauptsächlich Kompressionskältemaschinen eingesetzt. Diese haben jedoch einen hohen Strombedarf, der zudem vornehmlich zu Spitzenlastzeiten abgerufen wird. Daher wächst das Interesse an Klimatisierungsverfahren, die Wärme auf niedrigem Temperaturniveau, wie Fernwärme beziehungsweise Abwärme und solare Wärme, für die Kühlung nutzbar zu machen.

Ökonomisch und ökologisch sinnvoll ist die Nutzung von Abfallwärme aus dezentralen Stromerzeugungsanlagen, die im Sommer sonst kaum genutzt werden kann und aufwändig abgeführt werden müsste.

Bei der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung wird die Grundlast der Kältebereitstellung meist über wärmegetriebene Absorptionskältemaschinen gedeckt – ergänzt durch stromgetriebene Kompressionskältemaschinen für die Mittel- und Spitzenlasten.

Mit dem Einsatz von Kältespeichern ist es möglich, die Absorptionskältemaschinen besser auszulasten und die Effizienz der Anlagen zu steigern. Der Strombedarf für die Kompressionskältemaschinen sinkt und vielfach können auch die Investitionskosten reduziert werden.

Die Stadtwerke Chemnitz untersuchten gemeinsam mit der Technischen Universität Chemnitz, in welchen Fällen Kältespeicher innerhalb großer Versorgungssysteme ökologisch und ökonomisch vorteilhaft eingesetzt werden können. Bei dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) geförderten Vorhaben dient das Chemnitzer Fernkältesystem als Untersuchungsobjekt.

▶ Das Fernkältesystem der Stadtwerke Chemnitz

Seit 1973 existiert in Chemnitz ein Fernkältesystem, das seinerzeit mit Kompressionskältemaschinen konzipiert wurde. Seit 1993 wird Wärme aus dem Heizkraftwerk Nord II für die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit LiBr-Wasser-Absorptionskältemaschinen verwendet. Die Stadtwerke Chemnitz versorgen damit nahezu alle großen Kälteabnehmer bzw. Klimaanlagen in der Chemnitzer Innenstadt.

Die Kältebereitstellung erfolgt zentral mit Absorptionskältemaschinen (AbKM) für die Grundlast und mit Kompressionskältemaschinen (KoKM) für die Mittel- und Spitzenlasten (Abb 2). Die Absorptionskältemaschinen werden vorrangig genutzt, da diese mit Überschusswärme des Heizkraftwerks angetrieben werden.

In den letzten fünf Jahren hat sich der Kälteabsatz im Versorgungsgebiet verdoppelt.

Abb 4: Fernkältesystem technischer Bestand und Lastprognose für 2006

Technischer Bestand	
Absorptionskältemaschinen [kW]	4.100
Kompressionskältemaschinen [kW]	4.242
Kältemaschinenleistung, gesamt [kW]	8.342
Kältelast-Prognose für das Jahr 2006	
maximale Netzlast [kW]	11.079
Kälteabsatz im Grundlastbereich [MWh/a]	10.883
Kälteabsatz im Spitzenlastbereich [MWh/a]	1.229
Kälteabsatz, gesamt [MWh/a]	12.112

Abb 2: Zentrale Kälteversorgung (ZKV) in Chemnitz. Der geplante Kältespeicher ist bereits berücksichtigt.

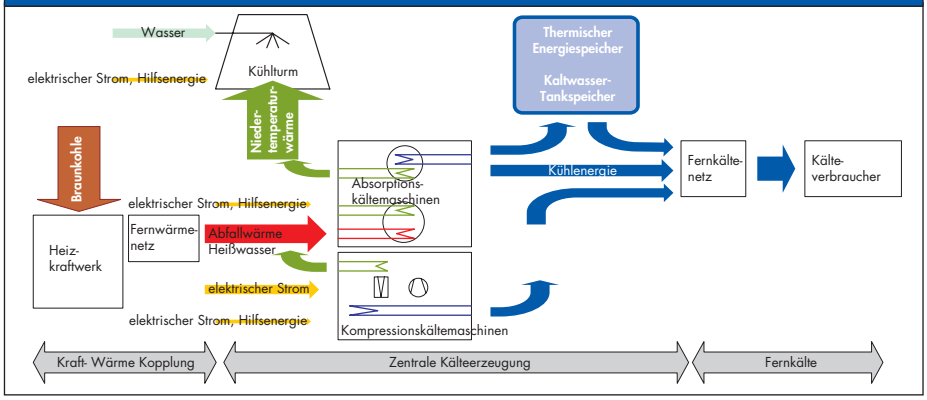
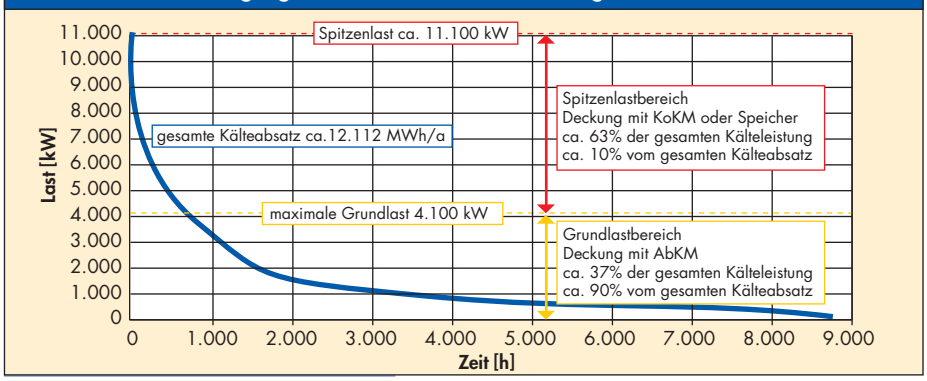


Abb 3: Geordnete Lastganglinie für die ZKV Chemnitz, Prognose für das Jahr 2006



Dies liegt zum einen am allgemeinen Trend, andererseits macht sich aber auch die Modernisierung des Stadtkerns mit klimatisierten Einkaufspassagen und neuen Bürogebäuden bemerkbar.

Um die Kälteversorgung auch in Zukunft gewährleisten zu können, muss die bestehende Anlage optimiert werden.

Nachrüstbedarf

Um den Nachrüstbedarf abzuschätzen, wurden die Lastganglinien für die kommenden Jahre auf der Basis von Wetter- und Lastdaten des Fernkältenetzes prognostiziert (Abb 3, Abb 4). Demnach wird für 2006 ein Kälteabsatz von 12.100 MWh erwartet. Das wesentliche Problem ist jedoch die Deckung der Kälte-Spitzenlast von voraussichtlich rund 11.100 kW. Sie kann mit den im Maschinenbestand vorhandenen Absorptions- und Kompressionskältemaschinen nur zu drei Viertel abgedeckt werden.

▶ Die Alternativen: Kältemaschine oder Kältespeicher

Aus wirtschaftlicher Sicht kommt die Nachrüstung mit Kompressionskältemaschinen oder aber der Einsatz eines Kältespeichers in Frage. Alle anderen Alternativen, z.B. ein weiterer Einsatz von Absorptionskältemaschinen, zeigen wirtschaftlich wesentlich schlechtere Ergebnisse.

Besonders attraktiv erscheint die Variante, die vorhandenen Absorptionskältemaschinen mit einem Speicher (Abb 5) besser auszulasten. Dabei wird der Speicher nachts von den Absorptionskältemaschinen beladen und deckt die Spitzenlast des folgenden Tages vollständig. Bei diesem Konzept werden die Kompressionskältemaschinen kaum noch benötigt und können vorrangig

Abb 5: Energetischer Doppelnutzen eines Speichers in einer zentralen Kälteversorgung (ZKV) mit Absorptions- (AbKM) und Kompressionskältemaschinen (KoKM) in Verbindung zum Heizkraftwerk (HKW) einschließlich der wichtigsten Energie- und Stoffströme

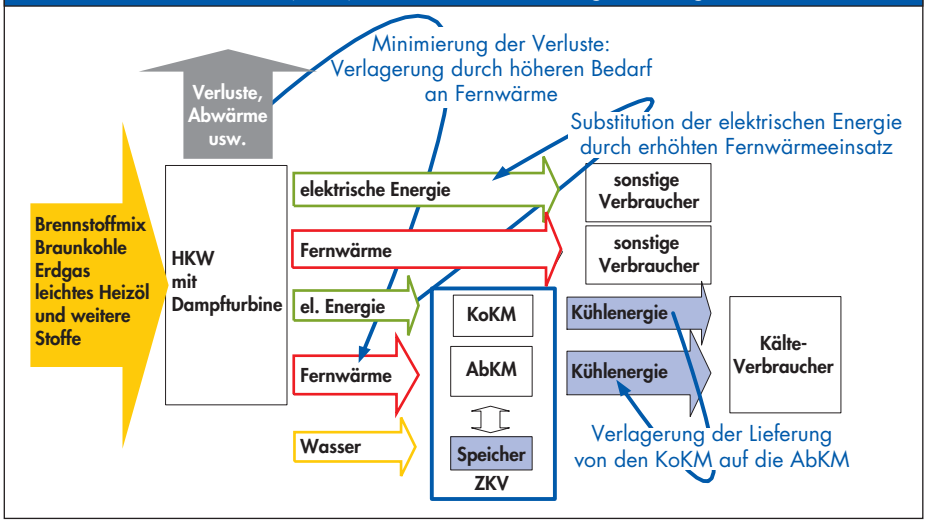


Abb 6: Leistungsanpassung für das Jahr 2006; Nachrüstvarianten

Nachrüstvariante	Beschreibung
GFK-Sp	Nachrüstung eines 3.500 m³ Kaltwasser-Tank-Speichers, Konstruktion der Speicherhülle aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) mit innen liegender Wärmedämmung
Stahl-Sp	Nachrüstung eines 3.500 m³ Kaltwasser-Tank-Speichers, Konstruktion der Speicherhülle aus Stahl mit außen liegender Wärmedämmung
Beton-Sp	Nachrüstung eines 3.500 m³ Kaltwasser-Tank-Speichers, Konstruktion der Speicherhülle aus Stahlbeton mit außen liegender Wärmedämmung
KoKM	Nachrüstung von Kompressionskältemaschinen mit einer Kälteleistung von 2.737 kW

als Notfallreserve vorgehalten werden. Elektrische Energie zu Mittel- und Spitzenlastzeiten wird durch eine verstärkte Abwärmenutzung eingespart.

Die Simulationen kommen für einen Speichereinsatz zu folgenden Ergebnissen:

- Die Deckung der gesamten Netzlast durch die Absorptionskältemaschinen erhöht sich von ca. 90% auf ca. 100%.
- Bis zu ca. 2 GWh/a mehr Abwärme könnten effektiv genutzt werden.
- Bis zu 150 MWh/a elektrischer Strom könnten anderweitig angewendet werden.
- Eine Nachrüstung mit Kompressionskältemaschinen kann vermieden werden.

▶ Speichervarianten und Kosten

Kann die Nachrüstung mit einem Kältespeicher auch aus wirtschaftlicher Sicht gegenüber den Alternativen bestehen? Diese Frage wurde für drei unterschiedliche Speicherkonstruktionen untersucht (Abb 6). Als Vergleichsmaßstab dienten die Kosten einer konventionellen Nachrüstung mit Kompressionskältemaschinen.

Problematisch war es, die Kosten der Nachrüstmaßnahmen konkret dem geänderten Kälteabsatz oder der Spitzenlast zuzuordnen, denn mit dem prognostizierten höheren Bedarf ändert sich sowohl die Spitzen- als auch die Grundlast. Die Kosten wurden daher so berechnet, als ob nicht nur die Nachrüstvarianten, sondern die gesamte Kälteversorgung im Jahr 2006 errichtet würde. Beim Vergleich der verschiedenen Varianten geht der technische Bestand jeweils als fester Kostenblock in die Rechnung mit ein. Dies nivelliert zwar die Ergebnisse für die verschiedenen Nachrüstvarianten. Die Kostenminima werden jedoch in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben (Abb 7, Abb 8). Abb 7 zeigt die Investitionskosten der Nachrüstungsvarianten sowie die Jahresgesamtkosten. Die Investitionskosten für einen GFK-Kältespeicher und auch für den Beton-Tankspeicher sind geringer, die eines Stahlspeichers hingegen höher als die einer Nachrüstung mit Kompressionskältemaschinen. Bei den Jahresgesamtkosten sind aber alle Speicher günstiger als die Variante mit Kompressionskältemaschinen, wobei der GFK-Speicher die besten Ergebnisse zeigt. Abb 8 gliedert die Jahreskosten auf: Für alle Varianten dominieren die Kapitalkosten und die verbrauchsgebundenen Kosten gegenüber den betriebsgebundenen Kosten.

Investitionskosten von Kältemaschinen

Absorptionskältemaschinen besitzen allgemein hohe spezifische Investitionskosten. Bei einstufigen LiBr-H_2O-Absorptionskältemaschinen liegen die Systemkosten bei ca. 250 – 350 Euro pro kW Kälteleistung. Deshalb ist generell eine hohe Auslastung dieser Maschinen anzustreben. Die verbrauchsgebundenen Kosten sind auf Grund der preiswerten Abfallwärme relativ gering.
Die spezifischen Investitionskosten von Kompressionskältemaschinen liegen mit 75 – 125 Euro pro kW Kälteleistung unter denen von Absorptionskältemaschinen. Zum Antrieb muss jedoch relativ teurer Strom eingesetzt werden, wodurch die verbrauchsgebundenen Kosten höher liegen. Ein Vorteil ist, dass der Abwärmestrom im Vergleich zu Absorptionskältemaschinen geringer ist und niedrigere verbrauchsgebundene Kosten für die Pumpenantriebe und für den Wasserverbrauch am Kühlturm anfallen.

Abb 7: Jahresgesamtkosten System inkl. Nachrüstvariante

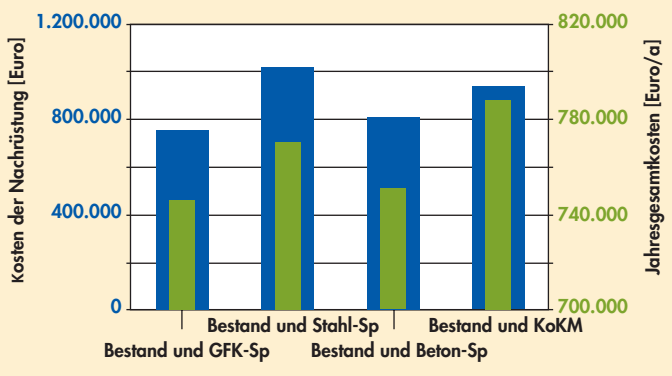
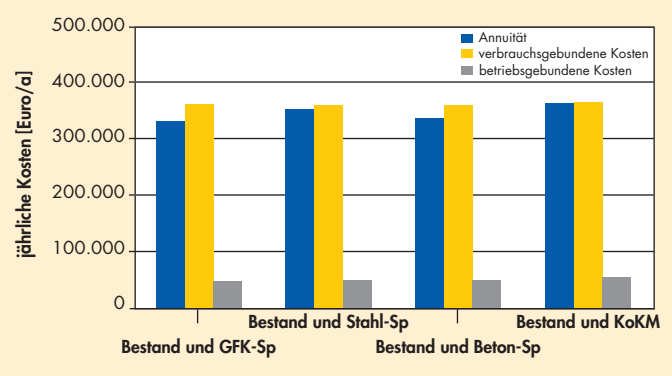


Abb 8: Jährliche Kosten der unterschiedlichen Nachrüstvarianten



Kältespeicher bringen Vorteile

Mit Kältespeichern lassen sich Fernkältesysteme erheblich flexibler betreiben. So kann z. B. der Betrieb der Kältemaschine vergleichmäßigt oder stärker in Nachtzeiten verlagert werden. Die elektrischen Lastspitzen in der Hochlastzeit werden verringert oder massiv abgebaut. Über die Nutzung von Niedertarifen in der Nacht ist die Reduktion der verbrauchsgebundenen Kosten möglich. Gleichzeitig muss keine so hohe elektrische Anschlussleistung vorgehalten werden. Die Kältemaschinen können kleiner dimensioniert werden und arbeiten am Auslegungspunkt mit besseren Wirkungs- und Nutzungsgraden.
Systeme mit Kältespeicher haben oftmals geringere Investitionskosten als Systeme, die die Spitzenlast mit schwach ausgelasteten Kompressionskältemaschinen decken. Kleinspeicher sind in großer Vielfalt auf dem Markt. Die Kältespeicher können in bestehenden Systemen nachgerüstet werden und stellen in der Regel keine hohen Anforderungen an die Technik im Bestand. In Zeiten ohne Spitzenlast erhöht ein Speicher die Versorgungssicherheit, da er kurzzeitig eine Notversorgung gewährleisten kann.

▶ Fazit

Beim weiteren Ausbau der Kundenanschlüsse favorisieren die Stadtwerke Chemnitz AG aus ökologischen und auch aus wirtschaftlichen Gründen den Einsatz eines großtechnischen Kältespeichers anstelle von zusätzlichen Kältemaschinen. Die bisherigen Ergebnisse zur technischen Machbarkeit und die Kostenschätzung stimmen optimistisch. Mit einem ersten, geplanten Pilotprojekt in Deutschland soll diese Technik demonstriert und optimiert werden.

Der Bau und Betrieb eines 3.500 m³ großen Kurzzeit-Speichers ist für den Spätsommer 2006 geplant. Im folgenden Winter, wenn die Last des Kältenetzes gering ist, soll der Speicher ins Netz eingebunden werden. Das System wird mit Hilfe eines Monitoringprogramms überwacht und über Systemsimulationen optimiert. Die Ergebnisse sollen fortlaufend bis zum Jahr 2009 veröffentlicht werden. Sie könnten in Zukunft deutschlandweit beim Aufbau und der Umrüstung von Kühlsystemen angewendet werden.

Die Untersuchungsergebnisse für das Fernkältesystem Chemnitz lassen sich zumindest in der Tendenz auf viele andere Systeme übertragen: Ein Kältespeicher erhöht die Effizienz der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Der Verbrauch von elektrischer Energie in der Mittel- und Spitzenlast kann zugunsten von Abwärme reduziert werden. Der Nutzungsgrad des angeschlossenen Heizkraftwerkes verbessert sich. Da vielfach auch Kostenvorteile gegenüber alternativen Varianten bestehen, dürfte sich diese Technik sowohl bei der Nachrüstung als auch bei der Neuerrichtung von zentralen und dezentralen Kälteversorgungssystemen durchsetzen.

▶ PROJEKTADRESSEN

- Technische Universität Chemnitz
  Fakultät für Maschinenbau
  Professur Technische Thermodynamik
  Dr. Thorsten Urbaneck
  09107 Chemnitz
- Stadtwerke Chemnitz AG
  Fernwärme/Fernkälte
  Ulf Uhlig
  Postfach 41 14 68
  09030 Chemnitz

▶ ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Urbaneck, T.; Schirmer, U.; Platzer, B.; Uhlig, U.; Göschel, T.; Zimmermann, D.: Kältespeicher-Stärkung der KWK. In: 10. Dresdner Fernwärme-Kolloquium. 20.-21. Sept. 2005. Tagungsband. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. bei dem Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW) e.V., Frankfurt. 2005
- Urbaneck, T.; Schirmer, U.; Platzer, B.; Uhlig, U.; Göschel, T.; Zimmermann, D.: Kältespeicher – Überblick zum Stand der Technik. In: 12. Symposium "Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik". Stralsund, 3.-5. Nov. 2005. Hrsg.: Fachhochschule Stralsund. 2005. S. 160-167
- Urbaneck, T.; Schirmer, U.; Platzer, B.; Uhlig, U.; Göschel, T.; Zimmermann, D.: Optimierung der KWKK mit Kältespeichern. In: Euroheat & Power. (2005) H. 11

Bildnachweis

- Alle Bilder Dr. T. Urbaneck

PROJEKTORGANISATION

■ **Förderung**
Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)
11019 Berlin

Projektträger Jülich (PTJ) des BMWA
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Volkmar Lottner
54425 Jülich

■ **Förderkennzeichen**
0327357A

IMPRESSUM

■ **ISSN**
0937 – 8367

■ **Herausgeber**
FIZ Karlsruhe GmbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

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

■ **Autor**
Dr. Franz Meyer

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit geförderter Informationsdienst der Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe GmbH.

Kontakt:
Fragen zu diesem **projekt***info*?
Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:
Tel. 0228 / 9 23 79-44

BINE Informationsdienst

FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn
Mechenstraße 57
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0
Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: www.bine.info

KERSTIN CONRADI · Mediengestaltung, Hennef