



ILK Dresden



1. Platz: Vakuum-Flüssigeis-Technologie
Kategorie: Innovationen in der Kälte- und Klimatechnik

Flüssigeis

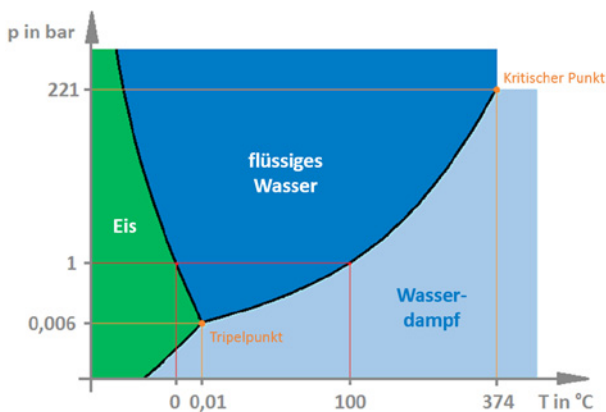
zur Kälte- und Wärmeversorgung



Kälte und Wärme erzeugen, Energie speichern – Wir brauchen dafür nur Wasser

Der zunehmende Ausbau regenerativer Energien wird uns zukünftig vor die Herausforderung stellen, den erzeugten Strom dann zu nutzen, wenn er zur Verfügung steht. Aber wie soll die Energie gespeichert werden, die zum Zeitpunkt der Erzeugung nicht benötigt wird? Im Bereich der Kälteversorgung stellt unsere Flüssigeis-Technologie eine sichere, umweltfreundliche und sehr effiziente Lösung zur Energiespeicherung dar. Auch für alle traditionellen Anwendungen der Kühlung industrieller Prozesse und der Klimatisierung

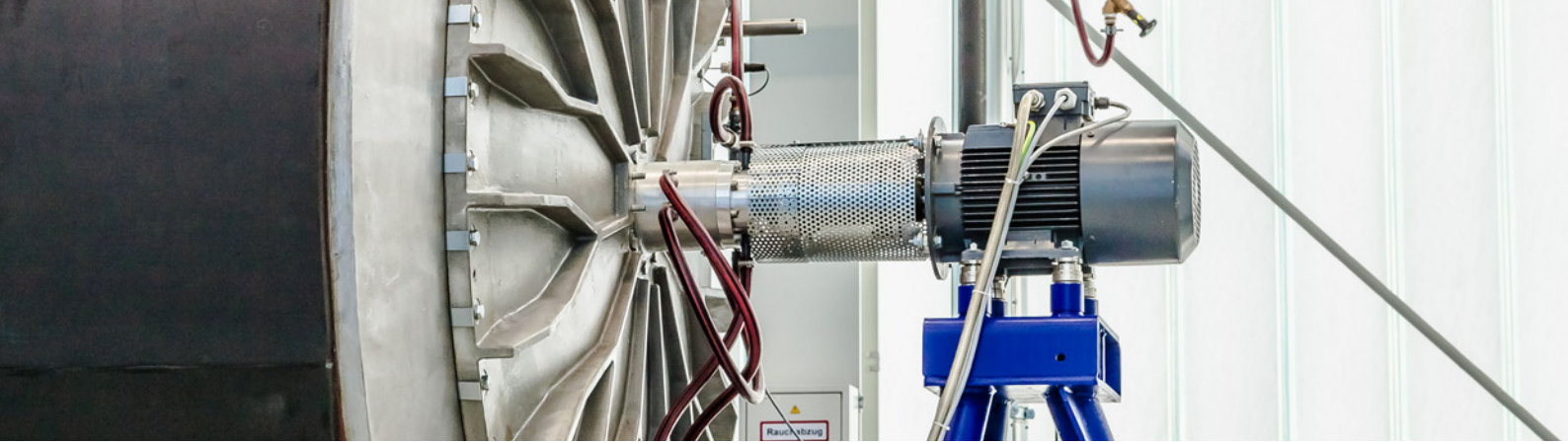
von Gebäuden setzt unsere Flüssigeis-Technologie Maßstäbe im Effizienzvergleich der Kälteerzeugung. Mit Hilfe des Flüssigeises kann zudem Wärme gewonnen werden, da Oberflächengewässer als Wärmequelle für den Einsatz von Wärmepumpen erschlossen werden können.



Wenn das Prinzip so einfach ist, was macht diese Technologie so einzigartig?

Unser Verfahren beruht auf dem natürlichen Phänomen, dass am Tripelpunkt von Wasser die Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig gleichzeitig vorliegen. Durch die Verdampfung einzelner Wassermoleküle an der Wasseroberfläche wird der umgebenden Flüssigkeit Energie entzogen. Da die Verdampfung bei etwa $-0,5\text{ °C}$ im Bereich des Tripelpunktes im Vakuum erfolgt, gefrieren andere Wassermoleküle und bilden Eispartikel. Zur technischen Nutzung dieses Phänomens muss für die Gewährleistung eines kontinuierlichen Betriebs der Wasserdampf mit einem Verdichter aus dem Eiszeuger abgesogen werden. Die geringe Dichte des Wasserdampfes bei einem Druck

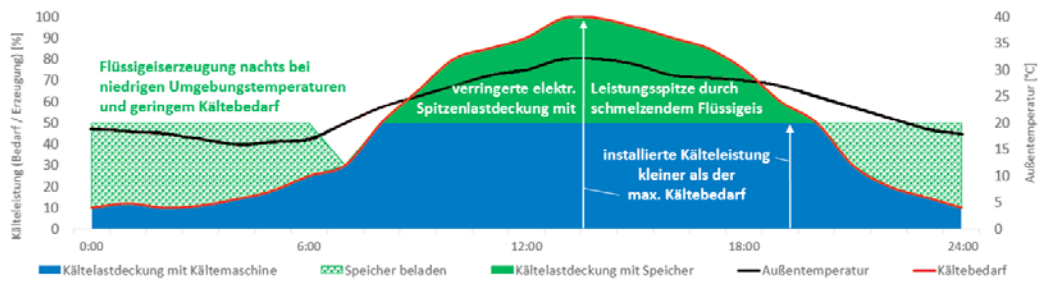
von 6 mbar stellt für den Verdichtungsprozess eine besondere Herausforderung dar. Das ILK Dresden verfügt inzwischen über eine jahrzehntelange Erfahrung in der Entwicklung spezieller Turboverdichter für diese Einsatzbedingungen und konnte deren zuverlässigen Betrieb in zahlreichen Anlagen in den verschiedensten Anwendungen nachweisen. Neben der direkten Nutzung von Wasser als Kältemittel in R718-Turbo-Kaltwassersätzen mit einer Leistungsgröße bis zu 1 MW werden derartige Verdichter auch in mechanischen Brüden-Kompressionsanlagen zur Meerwasserentsalzung eingesetzt.



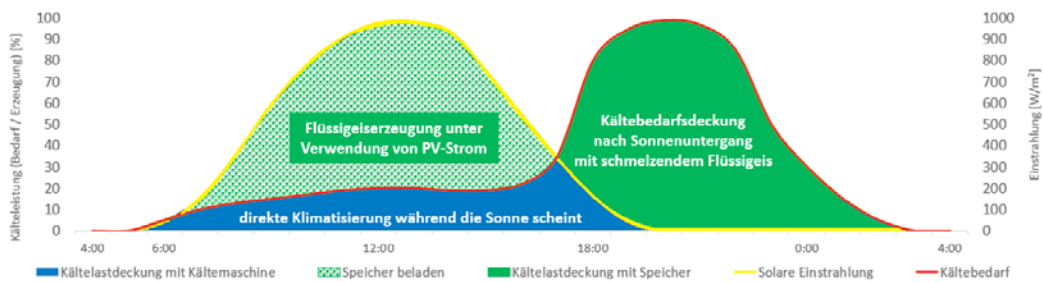
Kälte speichern – Vorteile und Möglichkeiten

Kältespeicher dienen zur Abdeckung von Kältebedarfs-
spitzen, die typisch für viele Anwendungsfälle bei der Kli-
matisierung von Gebäuden oder der Prozesskühlung sind.
Mit dem Einsatz von thermischen Speichern kann sowohl
die elektrische Spitzenlast gesenkt als auch die Kälteer-
zeugung in Zeiten verlagert werden, in denen preiswerter
bzw. regenerativer Strom verfügbar ist. Die Umwandlung
„überschüssiger“ (erneuerbarer) elektrischer Energie in
nutzbare Kälte wird auch als „Power-to-Cold“ bezeich-

net. Speicherbehälter für Flüssigeis sind kostengünsti-
ger als herkömmliche Festeisspeicher, da im Speicher
selbst kein Wärmeübertrager benötigt wird. Somit sind
auch große Speicherkapazitäten darstellbar, mit denen
ein „Power-to-Cold“ Betrieb realisiert werden kann. Käl-
tespeicher leisten somit einen wesentlichen Beitrag zur
Energiewende durch Integration regenerativer Energien
im Bereich der Kälte- und Klimatechnik.



Spitzenlastdeckung mit Flüssigeis
Beispiel: Kältebedarfsdeckung eines Bürogebäudes oder einer Produktionsstätte



Entkopplung von Kälteerzeugung und Kältebedarf zur Erhöhung des Eigenverbrauchs von PV-Strom
Beispiel: Theater mit Abendvorstellung

	Leistung des Eiserzeugers	Speicherkapazität	Entladeleistung des Speichers	Speichervolumen
Minimum (pro Modul)	100 kW	500 ... 10.000 kWh	100 ... 2.000 kW	für 500 kWh: 8 m ³
Maximum (pro Modul)	500 kW			für 10 MWh: 160 m ³ (60 % Eisanteil; inkl. 0 bis 6 °C)

Mit einem Verdichter realisierbarer Leistungsbereich (größere Leistungen durch Parallelschaltung mehrerer Verdichter)



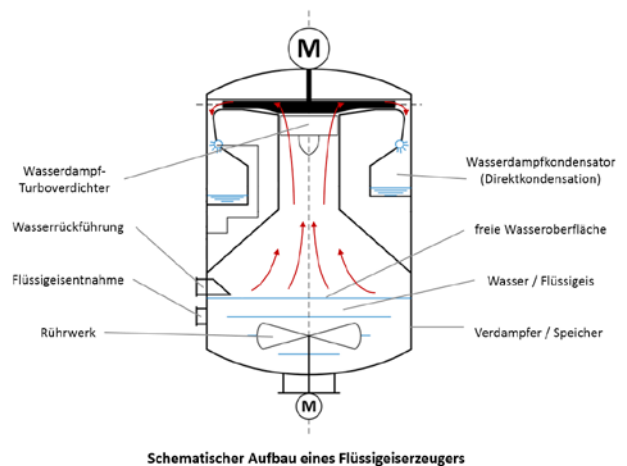
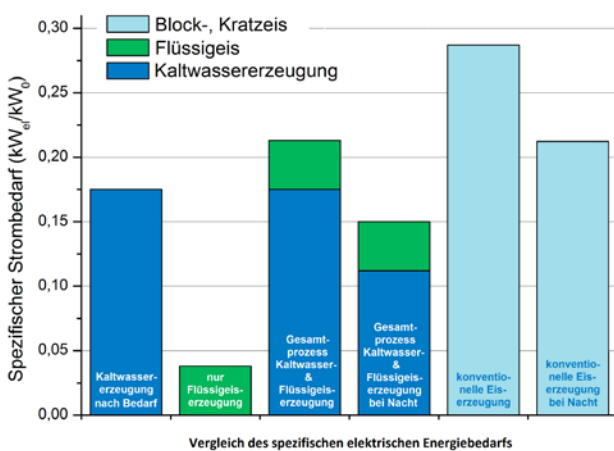
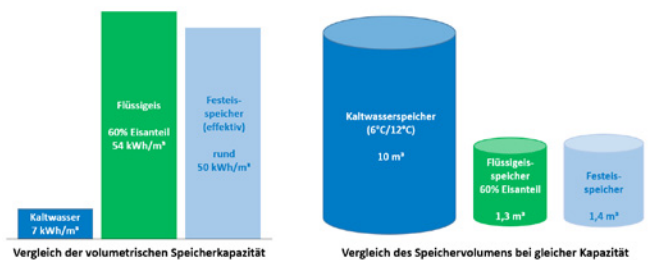
Flüssigeis zum Speichern von Kälte – die Technologie im Vergleich

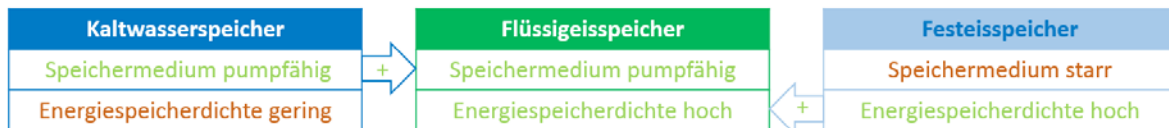
Ein Kältespeicher stellt eine spezielle Form des Wärmespeichers dar, dessen Speichermedium beim Beladen Energie entzogen und beim Entladen Energie in Form von Wärme zugeführt wird. Prinzipiell wird unterschieden zwischen sensiblen Speichern, in denen das enthaltene Medium nur aufgrund von Temperaturänderung seinen Energiegehalt ändert, und Latentspeichern, in denen das Medium seinen Aggregatzustand wechselt.

Die erzielbare Energiespeicherdichte in sensiblen Speichern ist eher niedrig. In **Kaltwasserspeichern** mit einem Temperaturunterschied von 6 °C bis 12 °C können in einem Kubikmeter nur rund 7 kWh gespeichert werden.

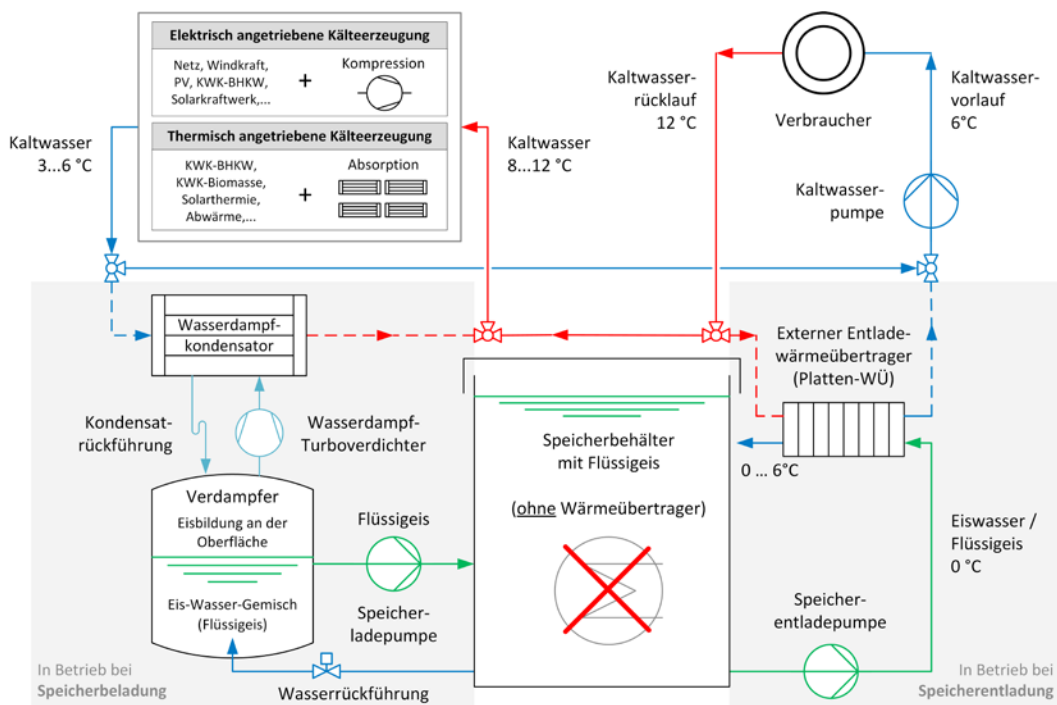
Durch den Gefriervorgang kann in reinem Eis pro Kubikmeter knapp 90 kWh latente Energie gespeichert werden. In **herkömmlichen Festeispeichern** wird Wasser zu einem Block gefroren. Für die Eiszerzeugung (Ladeprozess) wird chemisches Kältemittel bei einer Temperatur um -10 °C oder tiefer verdampft. Sobald sich an der Rohroberfläche Eis gebildet hat, wirkt es isolierend zwischen umgebenden Wasser und Kältemittel, so dass sich der Wärmetransport und damit die Gesamteffizienz signifikant verschlechtern. Das bedeutet, die Menge an erzeugtem Eis pro Zeiteinheit sinkt und das Verhältnis von eingesetzter elektrischer Energie

zur bereitgestellten Kälteenergie wird schlechter. Wird von Verbraucherseite die Kälte des durchgefrorenen Eisspeichers benötigt, wird die Rohrwendel mit Sole durchströmt und das Eis abgetaut (Entladeprozess). Auch beim Entladen nimmt die Leistung aufgrund des wachsenden Wasserspaltes zwischen Rohr- und Eisoberfläche ab. Um dem Leistungsabfall entgegenzuwirken, werden großflächige Wärmeübertrager – teilweise mit zusätzlichen Oberflächenvergrößerungen – eingesetzt. Aufgrund der im Speicher benötigten, voluminösen Wärmeübertrager können nach heutigem Stand der Technik pro Kubikmeter Speicher nur ungefähr 45 - 55 kWh Energie gespeichert werden.





Flüssigeisspeicher vereint die Vorteile von Kaltwasser- und Festeisspeicher



Mögliche Einbindung eines Flüssigeisspeichers in ein Kaltwassernetz

Die Vorteile der beiden vorgenannten Verfahren können mit sogenanntem Flüssigeis, einer Suspension von kleinen Eispartikeln in Wasser, verknüpft werden. Auch bei einem Eisgehalt um die 50 % ist das Gemisch noch pumpfähig. In anderen Verfahren werden die Eispartikel unter hohem Energieaufwand in Kratzeiszeugern durch die Verdampfung chemischer Kältemittel erzeugt, mechanisch zerkleinert und Wasser beigemischt. In unserem **Flüssigeisspeicher** ist das enthaltene Wasser Kältemittel und Speichermedium zugleich. Im Eiszeuger werden beim Ladeprozess durch die Verdampfung von Wasser an der Oberfläche Eispartikel erzeugt. Für diese Direktverdampfung ist weder ein chemisches Kältemittel noch ein zusätzlicher Wärmeübertrager

für die Eiszeugung notwendig. Das entstehende Eisgemisch kann direkt im Eiszeuger/Verdampfer gespeichert oder aber in einen separaten Speicher gepumpt werden. Zum Entladen des Eisspeichers wird das Flüssigeis durch einen externen Wärmeübertrager gepumpt, in dem ein Kälteüberträger (Kaltwasser, Sole oder Luft) oder ein Produkt (z.B. Milch) abgekühlt wird. Sowohl die Leistung als auch die Temperatur bleiben beim Be- und Entladen des Speichers über den gesamten Zeitraum konstant. Durch fehlende integrierte Wärmeübertrager ist die volumetrische Kapazität eines Flüssigeisspeichers annähernd identisch mit der Energiespeicherdichte des Flüssigeises, die bei 60 % Eisanteil 54 kWh/m³ beträgt.



Flüssigeis als Kälteträger

Viele industrielle Anwendungen, z.B. in der Lebensmittelindustrie, erfordern eine Kühlung unter 6 °C, häufig mit stark wechselnden Lasten. Das pumpfähige Flüssigeis oder das Eiswasser aus dem Speicher kann auch direkt als Kälteträger eingesetzt werden, um diese Prozesse effizient und mit hoher Leistung zu kühlen. So können beispielsweise Luft/Wasser- bzw. Luft/Glykol-Wärmeübertrager, die zur Entfeuchtung der Luft in Reiferäumen für Käse oder Wurst eingesetzt werden, alternativ mit Flüssigeis durchströmt werden. Durch die konstante Temperatur des Kälteträgers (Schmelzen des Eises) kann die übertragene Leistung erhöht sowie die Gesamteffizienz gesteigert werden. Die Reifbildung auf der Luftseite und somit erforderliche Abtau-

zyklen werden effektiv vermieden.

Die kombinierte Anwendung von Flüssigeis zur Kältespeicherung und als Kälteträger bietet sich insbesondere bei industriellen Batchprozessen mit einem Kältebedarf bei etwa 0 °C an. Hier kann die Kälteversorgung mit dem flexiblen Flüssigeisystem abgedeckt werden.

Beispielhafte Anwendungsfelder sind:

- industrielle Batchprozesse
- Brauereien
- Molkereien, Käsereien
- Bäckereien
- Fleisch- und Wurstverarbeitung



Ammoniak-Füllmenge zu groß? – Alternative: Flüssigeis

Ammoniak (R717) ist ein natürliches, effizientes und v.a. in industriellen Kälteanlagen verbreitet eingesetztes Kältemittel der Sicherheitsklasse B (toxisch). Die Nutzung von Ammoniak in Pumpenumlauf-Systemen, z.B. in Kühllagern, bei denen das flüssige Ammoniak bis zum luftbeaufschlagten Verdampfer im Kühllager gefördert wird, führt jedoch häufig zu großen Ammoniak-Füllmengen. In Abhängigkeit der Füllmenge sind teilweise kostspielige Sicherheitsauflagen zu erfüllen.

Insbesondere bei Anwendungen im Bereich der Normal-kälte (Plusbereich) ist die Verwendung von Flüssigeis anstelle von Ammoniak eine attraktive Alternative. Wie bei der Verdampfung von Ammoniak gewährleistet Flüssigeis eine konstante Temperatur auf der kalten, wärmeaufnehmenden Seite des luftbeaufschlagten Wärmeübertragers (Luftkühlers). Die Nutzung von Ammoniak als Kältemittel kann auf die Kälteerzeugung im Maschinenraum begrenzt werden. Die Kälteverteilung erfolgt durch Flüssigeis.

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)

Neben der klassischen Kraft-Wärme-Kopplung, die vorrangig im Winter benötigt wird, kann mit Absorptionskältemaschinen im Sommer die Abwärme aus der (dezentralen) Stromerzeugung zur thermischen Kälteerzeugung verwendet werden. Der Betrieb von KWKK-Anlagen wird zunehmend durch die Einspeisung erneuerbarer Energie in die Stromnetze beeinflusst. Dies hat zur Folge, dass die Antriebswärme für AKM nicht gesichert zu den Zeiten zur Verfügung gestellt werden kann, in denen Kältebedarf besteht bzw. die AKM betrieben werden müsste. Die Speicherung von Kälte mit hoher Effizienz und Energiedichte mittels Flüssigeis bietet die Möglichkeit, den Betrieb von KWKK-Systemen weitgehend zu flexibilisieren. Das bedeutet, wenn die Antriebswärme zur Verfügung steht, Kälte zu

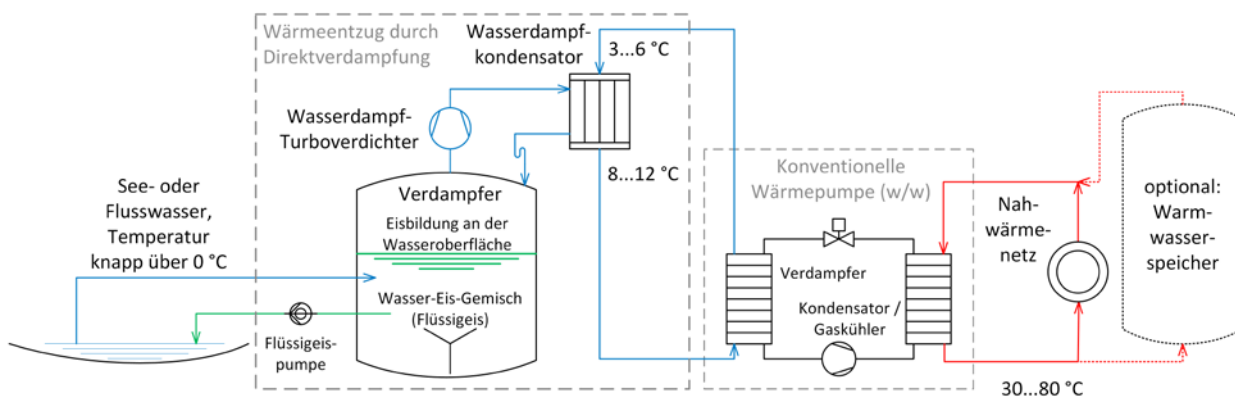
erzeugen und den Kältebedarf zu einem anderen Zeitpunkt abzudecken. In Anwendungen mit ausgeprägten Lastspitzen kann durch einen Kältespeicher die Installation zusätzlicher Kältemaschinen vermieden bzw. der KWKK-Anteil in der Kälteversorgung gesteigert werden.

Durch die Kombination von Wasser-LiBr-AKM mit einem Flüssigeiserzeuger können vielfältige Prozesskühlanwendungen im Nutztemperaturbereich um $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, Lebensmittelverarbeitung und -lagerung, versorgt werden. Damit wird für Wasser-LiBr-AKM ein Anwendungsbereich erschlossen, der bisher Ammoniak-Wasser-AKM vorbehalten war. In diesem Fall wird der Verbraucher stets mit Eiswasser oder Flüssigeis aus dem Speicherbehälter versorgt

Heizen mit Eis

Wärmepumpensysteme sind ein wichtiger Baustein zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung und verbreiten sich zunehmend. Aufgrund der geringeren Investitionskosten werden momentan überwiegend luftbasierte Wärmepumpen eingesetzt. Nachteile sind neben den Lärmemissionen die geringe Effizienz und Leistungsfähigkeit bei niedrigen Lufttemperaturen, also gerade dann, wenn ein hoher Heizwärmebedarf besteht. Aufgrund der Frostgefahr werden in unseren Breiten Oberflächengewässer bislang nicht als Wärmequelle für

Wärmepumpen eingesetzt. Mit dem Flüssigeissystem als erste Stufe in einer Wärmepumpenkaskade können leicht erschließbare, natürliche oder künstliche Wasserreservoirs mit Wassertemperaturen knapp über dem Gefrierpunkt als Wärmequelle verwendet werden. Aufgrund der konstanten und gegenüber Luftwärmepumpen höheren Wärmequelltemperatur wird ein signifikanter Effizienzvorteil erreicht. Der Erschließungsaufwand gegenüber Wärmepumpen, die das Erdreich als Wärmequelle nutzen, ist deutlich geringer.



Wärmepumpen-Kaskade zur Nutzung von Oberflächengewässern als Wärmequelle



Gemeinsame Schritte in eine nachhaltige Zukunft

Sie haben Interesse in einem konkreten Anwendungsfall?

Gerne erstellen wir Ihnen ein Konzept, unterstützen Sie bei der Planung und setzen gemeinsam mit Ihnen eine innovative Kälteerzeugung um.



Dr. Mathias Safarik
Hauptbereichsleiter Angewandte Energietechnik



Marcus Honke
Fachgebietsleiter Flüssigeiserzeugung



Christoph Steffan
Projektleiter

Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden gGmbH · Bertolt-Brecht-Allee 20 · 01309 Dresden
Tel.: +49 (351) 408 1 - 700 · Fax: +49 (351) 408 1 - 705
E-Mail: ice@ilkdresden.de · Web: www.ilkdresden.de

