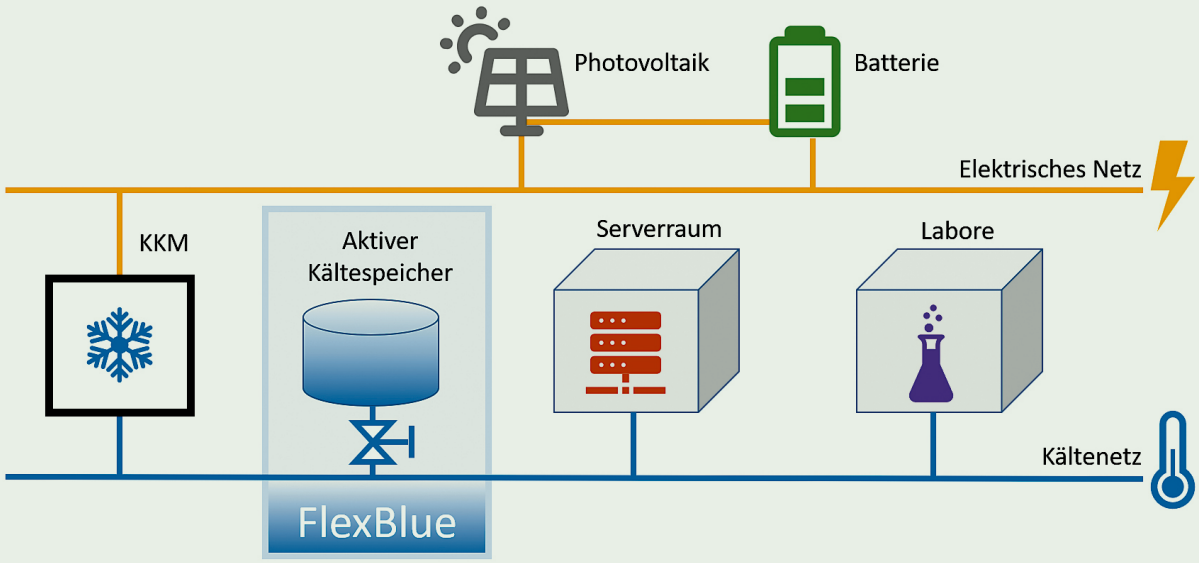
Forschungsprojekt „FlexBlue“

Kälteprozesse strategisch steuern



1

Das KlimaJournal 1-2025 berichtete über „Phase-Change-Materials“ (PCM) als aussichtsreiche Lösung für Kälte- und Luft-Anwendungen. Denn PCM ermöglichen Flexibilität: Sie nutzen den Phasenübergang von Feststoff zu Flüssigkeit, um thermische Energie bei konstanter Temperatur effizient zu speichern und wieder freizusetzen. Das 2025 dabei angesprochene und nun bald vor dem Abschluss stehende Forschungsvorhaben „FlexBlue“ unter Konsortialleitung des „Fraunhofer UMSICHT“ zeigt, welche Lösungen tragende Säulen der Energiewende werden können. Mehr zum Projekt in diesem (Folge-)Beitrag.

Die Energiewirtschaft befindet sich im Wandel. Strompreise schwanken zunehmend, erneuerbare Energien bestimmen immer stärker das Angebot und Netzentgelte entwickeln sich dynamisch. Für Betreiber von Kälteanlagen bedeutet dies: Nicht nur die Effizienz einer Kälteanlage entscheidet über ihre Wirtschaftlichkeit, sondern mehr und mehr auch der Zeitpunkt ihrer Leistungsaufnahme.

Hier setzt das Forschungsprojekt „FlexBlue“ an. Ziel ist es, Kälteanlagen von passiven Verbrauchern zu aktiven Flexibilitätsbausteinen im Energiesystem weiterzuentwickeln. Anstatt ausschließlich bedarfsgerecht Kälte zu erzeugen, wird die Kälteproduktion intelligent an Strompreise, Erträge aus Photovoltaik (PV)-Anlagen und Netzsituationen angepasst. Voraussetzung dafür ist wiederum das zeitliche Entkoppeln von Kälteerzeugung und -verbrauch durch thermische oder elektrische Speicher.

VORANBRINGEN

Klaus Rauch
CEO
kraftBoxx GmbH
88326 Aulendorf
info@kraftboxx.de

Flexibilität statt permanenter Volllast

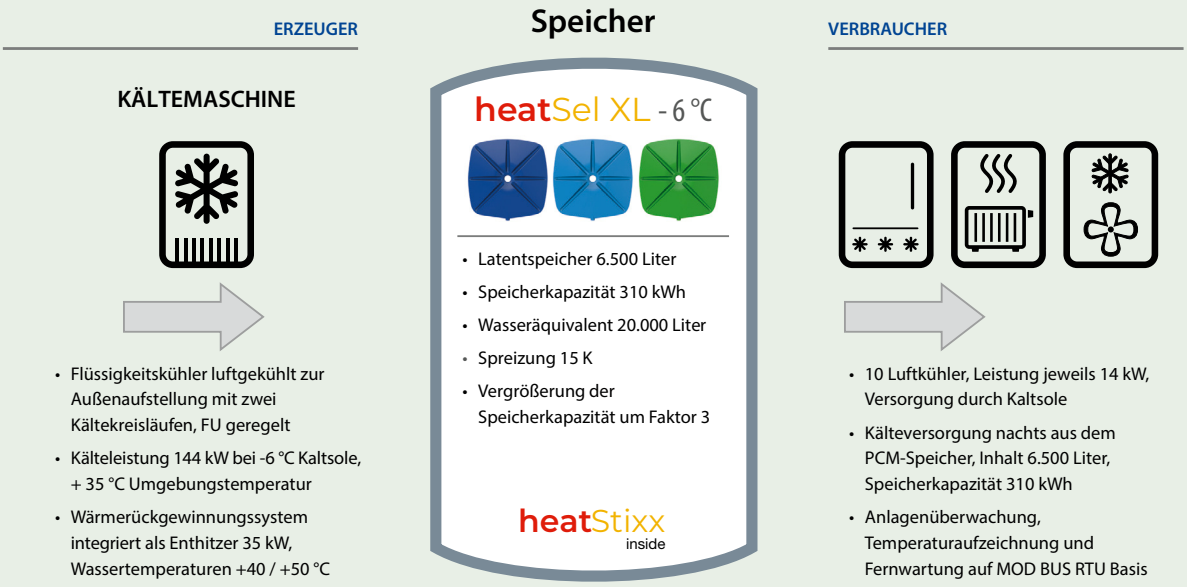
Viele Gewerbe-/Industriebetriebe haben einen nahezu konstanten Kältebedarf. Gleichzeitig ändern sich die Rahmenbedingungen der Stromversorgung erheblich: Hohe Leistungspreise, volatile Börsenstrompreise, steigende Anteile erneuerbarer Energien verlangen nach neuen Strategien.

Während klassische Anlagenoptimierungen vor allem den Wirkungsgrad verbessern, will „FlexBlue“ die Kälteerzeugung intelligent steuern und zeitlich verschoben dem Verbraucher zuführen. So lassen sich überschüssiger PV-Strom oder günstige Strompreisphasen nutzen, um thermische oder elektrische Speicher gezielt zu laden. In teuren Lastzeiten übernimmt der Speicher dann die Kälteversorgung ganz oder teilweise. Hierdurch können Lastspitzen, Anschlussleistungen und Stromkosten gesenkt werden.

PCM-Speicher in Kälte-, Klima- und Heizsystemen können die Speicherfähigkeit um das Drei- bis Vierfache bei gleichem Volumen erhöhen. Alternativ können Systeme kleiner/kompakter gestaltet werden, ohne dabei Leistung einzubüßen. Dies ermöglicht eine hohe Dynamik der Energieversorgung sowie schnelle Lade- und Entladezeiten – auch bei geringen Temperaturdifferenzen.

1 Technischer Aufbau von einem der beiden Demonstratoren im Rahmen des Forschungsprojekts „FlexBlue“. (Abbildungen: kraftBoxx GmbH)

2 Funktionsprinzip des eingesetzten, aktiven thermischen Kältespeichers mit PCM.



Demonstrator am KIT – reale Betriebsbedingungen

Ein Schwerpunkt des Projekts „FlexBlue“ ist der Demonstrator am Institut für Automation und angewandte Informatik (**IAI**) des Karlsruher Instituts für Technologie (**KIT**). Hier entstand ein Forschungsdemonstrator, auf dem unterschiedliche Strategien zum Flexibilisieren von Kälteversorgungssystemen unter realitätsnahen Bedingungen entwickelt und bewertet werden.

Die Versuchsanlage kombiniert eine Kompressionskältemaschine mit einer 64-kWp-PV-Anlage, einem aktiven thermischen Kältespeicher, sowie künftig einem Batteriespeicher. Über ein Energiemanagementsystem werden die einzelnen Komponenten intelligent miteinander verknüpft, sodass unterschiedliche Betriebsstrategien hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Netzdienlichkeit und Eigenverbrauch untersucht werden können. Ziel ist nicht die Optimierung einer einzelnen Komponente, sondern die des Gesamtsystems.

Bereits während der Projektlaufzeit wurde eine erste Amortisationsanalyse für den Demonstrator durchgeführt. Grundlage hierfür waren:

- reale Messdaten der Lastgänge am IAI,
- Ertragsdaten der 64-kWp-PV-Anlage,
- Börsenstrompreise aus dem Jahr 2024,
- Kennwerte sowie das temperaturabhängige (nichtlineare) Energieeffizienzverhältnis (EER) der Kompressionskältemaschine,
- sowie ein Simulationsmodell des thermischen Kältespeichers.

Die Projektpartner des Forschungsvorhabens „FlexBlue“:

- Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Konsortialführung)
- Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)
- SK Verbundenergie AG
- RÜTGERS GmbH & Co. KG
- FZI Forschungszentrum Informatik
- Technische Hochschule Ingolstadt (THI)





3a Der aktive thermische Pufferspeicher der Kraftboxx GmbH dient zur Kältespeicherung im Bereich von -50 °C bis +50 °C. Strömungstechnisch ist der durch Beruhigungszonen im oberen und unteren Bereich optimiert, durch Lochbleche abgetrennt. Eine langfristige und zuverlässige Energieeffizienz stellt die werksseitig vollflächig verklebte Kälteisolierung sicher.

3b Blick ins Innere des Speichers.



4 Einbau des PCM-Pufferspeichers in den Demonstrator am Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Die „coolBoxx“ hat standardmäßig ein Fassungsvermögen von 1.000-10.000 l und von 500-100.000 l als Sonderspeicher.

Der Demonstrator wurde dabei bewusst nicht ausschließlich nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgelegt. Vielmehr dient er als technologieoffene Forschungsplattform, auf der unterschiedlichste Speichertechnologien, Betriebsstrategien und Anwendungsfälle untersucht und miteinander verglichen werden können. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Entwicklung übertragbarer Lösungen für Gewerbe, Industrie und weitere Kälteanwendungen.

Ein wesentliches Merkmal des Projekts ist seine Technologieoffenheit. „FlexBlue“ bewertet unterschiedliche Speicher- und Systemkonzepte hinsichtlich ihres Flexibilitätspotentials. Neben dediziert thermischen Speichern werden beispielsweise auch Batteriespeicher oder die thermische Speichermasse des eigentlichen Kühlprozesses betrachtet. Entscheidend ist dabei nicht die Wahl einer einzelnen Technologie, sondern die Frage, welche Lösung sich für den jeweiligen Anwendungsfall technisch und wirtschaftlich am besten eignet.

Wissen aus der Forschung für die Praxis

Derzeit befindet sich eine frei zugängliche Wissensplattform im Aufbau, die Planer, Anlagenbauer und Betreiber bei der Flexibilisierung von Kälteversorgungssystemen unterstützt. Sie bündelt die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse und stellt diese praxisnah zur Verfügung. Denn um die Klimaziele in der **EU** und in Deutschland zu erreichen, wird die Kälteversorgung zukünftig einen aktiven Part in der Sektorenkopplung übernehmen müssen.

Die Plattform vermittelt unter anderem Grundlagen zur Anlagentechnik, vergleicht unterschiedliche Speichertechnologien und zeigt deren Betriebsführungskonzepte und Einsatzgrenzen auf. Ergänzend finden Anwender Entscheidungshilfen zur Auswahl geeigneter Systemkonzepte sowie Hinweise zur Dimensionierung und Integration verschiedener Speicherlösungen. Spätestens zum Projektende im Juni 2027 wird ein interaktiv nutzbares Rechentool auf der Plattform ergänzt, welches das Flexibilitätspotential von individuell konfigurierbaren Kälteanwendungen ausgibt inklusive wirtschaftlicher, ökologischer und technischer Kennzahlen.

Darüber hinaus werden Informationen zum zielführenden Ausgestalten von Betreiber-, Vermarktungs- und Steuerungsmodellen sowie Hinweise zur technischen Umsetzung gegeben. Sie beziehen sich beispielsweise auf die notwendige Mess-, Regelungs-, Informations- und Kommunikationstechnik sowie auf bereits in der Praxis realisierte Fallbeispiele zur Kälteflexibilisierung.

Die ersten Ergebnisse zeigten, dass sich die zusätzlichen Investitionskosten eines aktiven Kältespeichers durch die Kombination verschiedener Flexibilitätsmaßnahmen amortisieren können. Hierzu zählen insbesondere:

- „Peak-Shaving“ zum gezielten Reduzieren von Leistungsspitzen,
- das Nutzen flexibler Börsenstrompreise sowie
- das Maximieren des Eigenverbrauchs von PV-Strom.

Weitere Informationen unter:
www.kraftboxx.de | **www.flexblue-connect.de**
www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilungen/2024/flexibilisierungspotenzial-kaeltesektor.html