



In ähnlicher Form erschienen in: KK DIE KÄLTE + Klimatechnik 1/2015, S. 18-23  
Fachaufsatz der Eckelmann AG, Wiesbaden

## Energieeffizienz auf der Überholspur



### **Zukunftsweisende Konzepte für die Kälte-Wärme-Kopplung mit CO<sub>2</sub>-transkritischer Kälteanlage. Neuer C + C Großmarkt der SB Union setzt Maßstäbe in der Supermarktkälte.**

Die SB Union eröffnete Ende Mai 2014 einen neuen Hightech C + C Großmarkt in Fulda-Petersberg. Der Betreiber macht vor, was moderne Kälte- und Gebäudetechnik im Retail-Sektor heute leisten kann. Die Kälteanlage wird mit dem hocheffizienten und klimafreundlichen natürlichen Kältemittel CO<sub>2</sub> betrieben. Zurzeit ist es die größte CO<sub>2</sub>-transkritische Kälteanlage in Mittelhessen. Es handelt sich um ein ausgeklügeltes Booster-System mit mehrstufig skalierbarer Wärmerückgewinnung. Damit kann der Markt das ganze Jahr über seinen Bedarf an Kühlung und Wärme mit der Kälteanlage decken. Kostengünstig, umweltbewusst und energieeffizient!

Das Herzstück der Anlage bilden die 11 teilredundant geschalteten Verdichter (siehe Abb. 1). Sie bringen Tiefkühlung, Normalkühlung, Klimaanlage und nicht zuletzt die Wärmerückgewinnung hocheffizient auf Touren.

Realisiert wurde die Anlage von der Firma Meilbeck Kälte- und Klimatechnik GmbH aus Grünberg (als Generalunternehmer) in weniger als 9 Monaten mit maßgeschneiderten Kältesätzen der Firma compact Kältetechnik GmbH aus Dresden und dem E\*LDS Regelungssystem der Wiesbadener Eckelmann AG. In dem Projekt wurden Kühlmöbel der Firma Epta eingesetzt. Die Planung führte das unabhängige Planungsbüro ecoplan GbR aus Bielefeld durch.



Abb. 1: Blick unter die „Motorhaube“ der Kälteanlage. (Foto: Meilbeck)

Gemeinsam haben die auf ihrem jeweiligen Gebiet versierten Partner eine technisch neuartige Lösung für die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Kältemittel erarbeitet. Entwicklung und Fortschritt gehören eng zusammen. Dies beweist dieses Projekt eindrücklich: In der Automobilindustrie würde man von einem Konzeptfahrzeug sprechen, und auch hier ging es darum, wegweisende Konzepte schon heute zu verwirklichen. Die Anlage der Extraklasse erweitert jedenfalls unsere Vorstellungen von den Potentialen einer Kälteanlage, weil sie Kühlung und Nutzung der Abwärme konsequent koppelt und durch eine bedarfsgerechte Kühlung die Betriebskosten nachhaltig optimiert.

### Intelligente Kälte-Power für 1000 m<sup>2</sup> Kühl- und 700 m<sup>2</sup> Tiefkühlfläche

Die Größenordnung der neuen Anlage der SB Union in Fulda ist beeindruckend: Auf einer Gesamtnutzfläche von 7.000 m<sup>2</sup> wurden 1.000 m<sup>2</sup> Kühl- und 700 m<sup>2</sup> Tiefkühlfläche installiert. Dazu gehören im Bereich Tiefkühlung u.a. 60 m TK-Inseln ausgestattet mit Glasschiebescheiben und 660 m<sup>2</sup> Lagerfläche.



Abb. 2: Der SB Union Großmarkt in Fulda verfügt über 60 laufende Meter TK-Inseln. (Foto: Meilbeck)





Abb. 3: Begehbares Kühlhaus Feinkost-Verkauf mit einer Verkaufsfläche von 253 m<sup>2</sup> (Foto: Meilbeck)

Der Jahresverbrauch der Anlage wurde mit 700.000 kWh errechnet und wird im ersten Betriebsjahr voraussichtlich sogar unter dieser Prognose liegen, wie erste Hochrechnungen nach 4 Betriebsmonaten zeigen. Dies beweist die herausragende Planungskompetenz der beteiligten Firmen in Sachen CO<sub>2</sub>-Kälte-Wärme-Kopplung.

### Effizienz-Prinzipien

Zwei Grundprinzipien für mehr Energieeffizienz wurden bei der Planung der Anlage verfolgt: 1. bedarfsorientierte Kühlung und 2. konsequente Abwärmenutzung. Per Wärmerückgewinnung aus der Abwärme der Kälteanlage wird eine maximale Heizleistung von 300 kW technisch verfügbar gemacht. Damit könnte man ca. 30 Einfamilienhäuser heizen. Die Abwärme wird zum Heizen und zur Erwärmung von Brauchwasser genutzt.

Die bedarfsgerechte Kühlung führt dazu, dass Kältemittel nicht auf niedrigeren Temperaturniveaus verdampft werden muss, als für die Kühlung tatsächlich erforderlich ist. Hierzu wurde der Tiefkühlverbund so ausgelegt, dass sowohl -30 °C (TK-Möbel) als auch -32 °C (TK-Kühlräume) als Temperaturzonen bedient werden, jeweils mit Einheiten aus 2 und 3 Verdichtern.

Bei der Kühlung der TK-Kühlmöbel wird durch diese Maßnahme allein konzeptionell 6 % Energie eingespart. Bei herkömmlichen CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen gibt es im TK-Bereich in der Regel nur ein Temperaturniveau, das sich an der tiefsten notwendigen Kühltemperatur orientiert. Energetisch optimal ist diese Verdampfungstemperatur  $t_0$  freilich nur für eben diese Kühlstellen, für das Gros der Möbel jedoch nicht.



Auch in der Normalkühlung werden 2 Temperaturniveaus bedient, mit Verdampfungstemperaturen von  $-7\text{ °C}$  (4 Verdichter) für die NK-Kühlmöbel und  $-1\text{ °C}$  beim Klimaverbund (2 Verdichter). Insgesamt wird durch die bedarfsgerechte Auslegung der benötigten Temperaturniveaus eine zielgenaue und warenoptimale Temperierung erreicht, verbunden mit einem erheblich reduzierten Energieverbrauch. Das innovative  $t_0$ -Zonen-Konzept spart allein insgesamt 10 % an Betriebskosten.

### Alles hängt mit allem zusammen

Die Schwierigkeit in der Regelung von komplexen  $\text{CO}_2$ -Anlagen mit mehreren Temperaturzonen liegt, vereinfacht gesagt, darin, dass alles mit allem zusammenhängt. Es muss sichergestellt werden, dass alle Funktionen im Normalbetrieb, in den  $t_0$ -Zonen und in der Wärmerückgewinnung sowie im Wärmepumpen-Betrieb gemäß dem Bedarf abgedeckt werden. Die installierte maximale Verflüssigungsleistung bei dem Großmarkt der SB Union liegt bei beachtlichen 350 kW.



Abb. 4: Gaskühler mit 350 kW Verflüssigungsleistung. (Foto: Meilbeck)

Im Hintergrund: 2 Wärmepumpenverdampfer als zusätzliche „Kühlstellen“ mit 100 kW Wärmeleistung, um Wärmebedarfsspitzen kostengünstig und regenerativ über Wärmerückgewinnung zu decken. Der Klimaverbund fungiert hiermit zugleich als Wärmepumpe.

Die jeweils 2 Temperaturzonen wurden teilredundant ausgelegt und die Verdichtergruppen sind über ein geregeltes Ventil verbunden, so dass die jeweils anderen Verdichter etwaige Ausfälle kompensieren können. Durch diese teilredundante Auslegung ist das System davor geschützt, aus dem Gleichgewicht zu geraten.

Regelungstechnisch stellt dies allerdings besondere Anforderungen, die von einer herkömmlichen Verbundsteuerung nicht übernommen werden kann. Diese übergeordnete Aufgabe übernimmt eine frei programmierbare Steuerung GLT 3010, die in E\*LDS integriert ist.



Die speziell für den CO<sub>2</sub>-transkritischen Betrieb entwickelte Verbundsteuerung VS 3010 CT regelt im Einzelnen den Saugdruck (ND), den Mitteldruck (MD über den Druck im Kältemittelsammler), den Hochdruck (HD) und den Gaskühler. Im Niederdruckbereich der Booster-Anlage werden normale Verbundsteuerung des Typs VS 3010 eingesetzt.

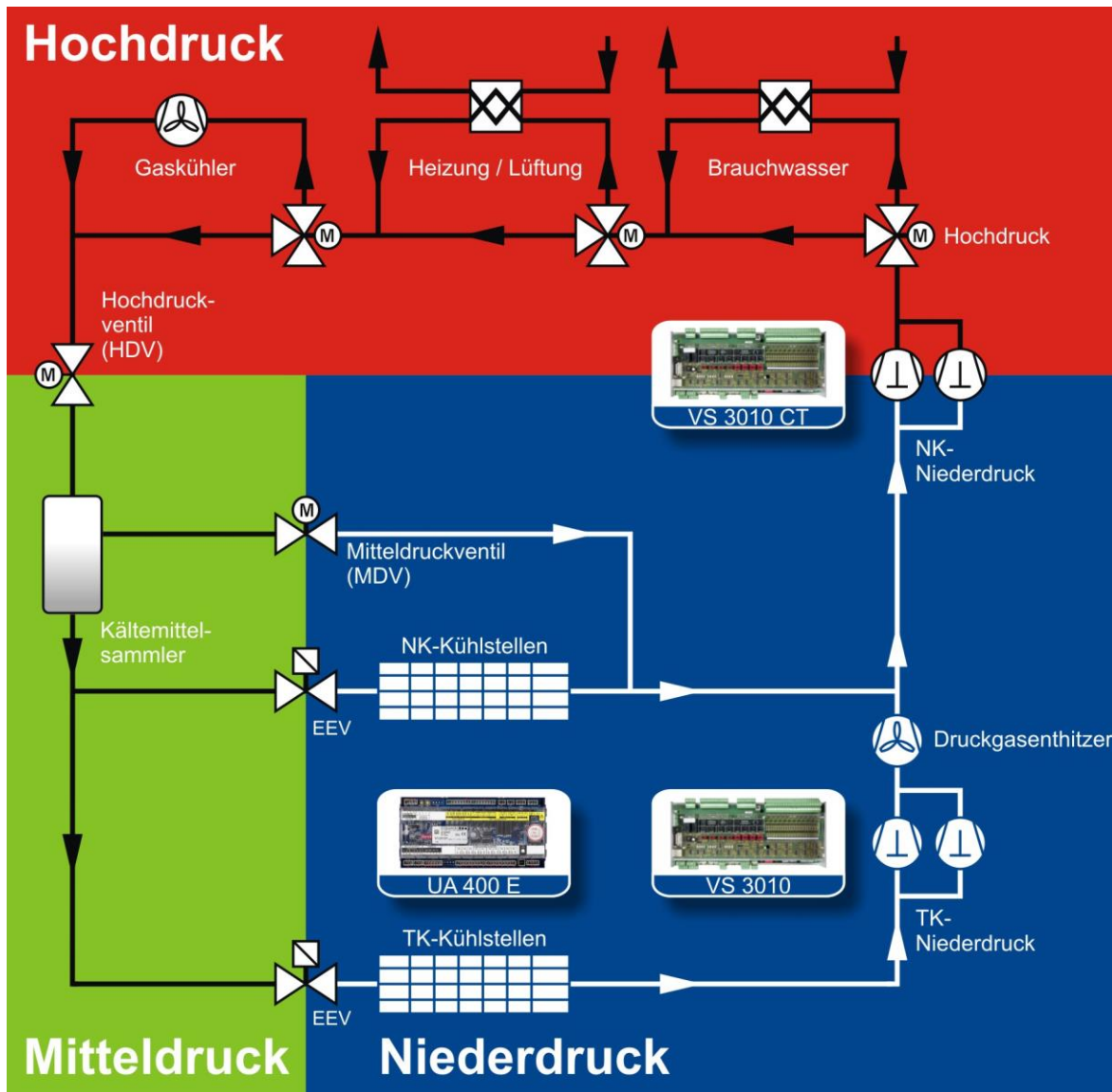
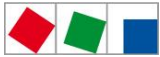


Abb. 5: Anlagenschema

Um thermodynamische Verluste durch Flash-Gas in den Kältemittelleitungen zu senken und ein stabiles Anlagenverhalten zu erreichen, wird das Kältemittel nach dem Gaskühleraustritt künstlich unterkühlt. Die aktive Unterkühlung ist insbesondere bei CO<sub>2</sub>-transkritischen Kälteanlagen eine höchst effektive Strategie, um die Effizienz zu steigern.





## Wärmerückgewinnung vom Feinsten

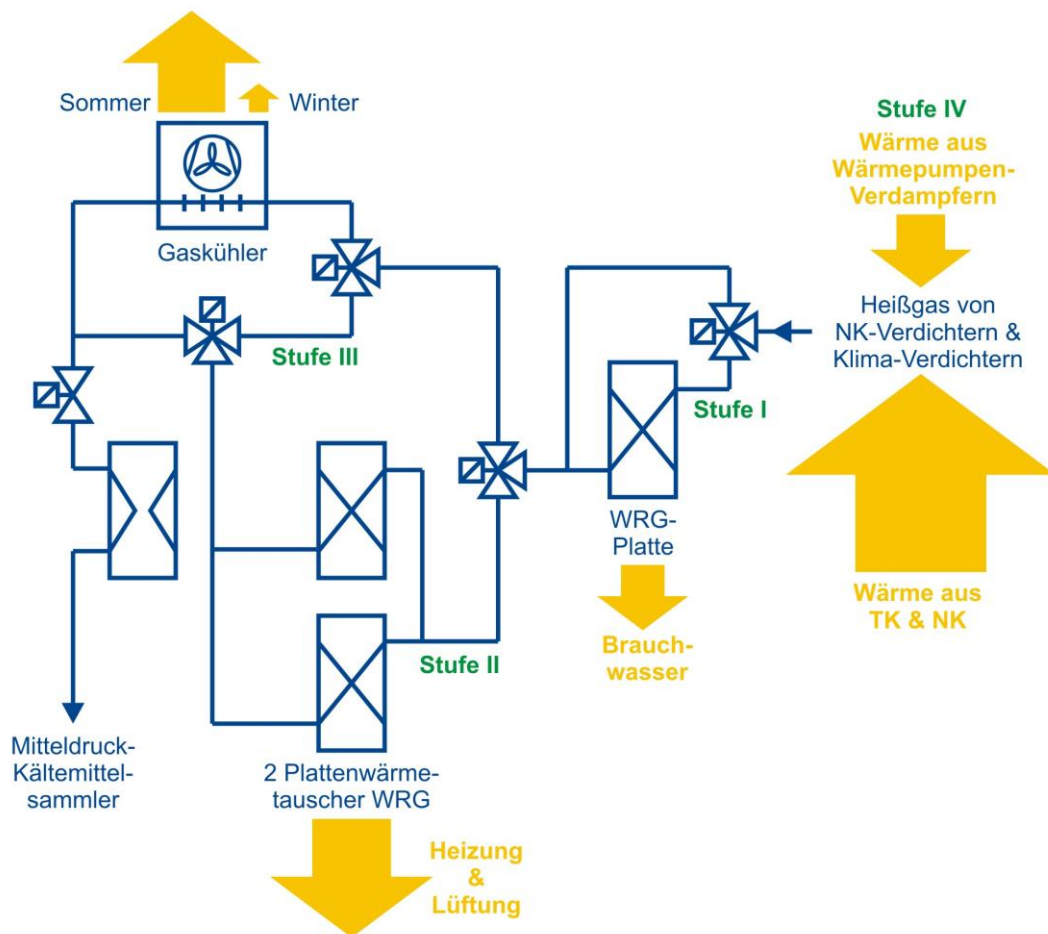


Abb. 6: Bedarfsgerechte Wärmerückgewinnung dank Bypass (Grafik: Meilbeck)

Je nach Wärmebedarf kann die Abwärme über 4 Stufen zurückgewonnen werden, die kontinuierlich und bedarfsgerecht über stetig geregelte elektronische Ventile zugeschaltet werden (Abb. 6 und 7 illustrieren das Stufen-Konzept). Hierzu wird ein bedarfsabhängiges, analoges Heizungsregelsignal mit 0 bis 10 V herangezogen. Nach der Enthitzung zur Brauchwassererwärmung (Stufe I) kann das Heißgas seine Wärme an 2 parallel angeschlossene Plattenwärmetauscher (Stufe II) zur Wärmerückgewinnung abgeben. Stufe I nutzt bis zu ca. 25 % der Verflüssigerwärme, Stufe II bis zu ca. 35 %.

Restliche Wärme wird über den nachgeschalteten Gaskühler abgeführt, dessen Verflüssigungsleistung je nach Sommer- oder Winterbetrieb zu 0 % bis 100 % genutzt wird. Wird der Gaskühler per Bypass-Schaltung bei hohem Wärmebedarf im Winter komplett umgangen (Stufe III), wird 100 % der zur Verfügung stehenden Verflüssigerwärme zurückgewonnen. Der Heißgasstrom wird so nach den Maßgaben des Bedarfs an Wärme für die Brauchwassererwärmung und zum Heizen umgelenkt oder geteilt. Die Wärmerückgewinnungsfunktionen sind über die frei programmierbare DDC GLT 3010 in E\*LDS integriert, so dass der momentane Betriebszustand der Kälteanlage immer perfekt mit der Wärmerückgewinnung koordiniert wird.

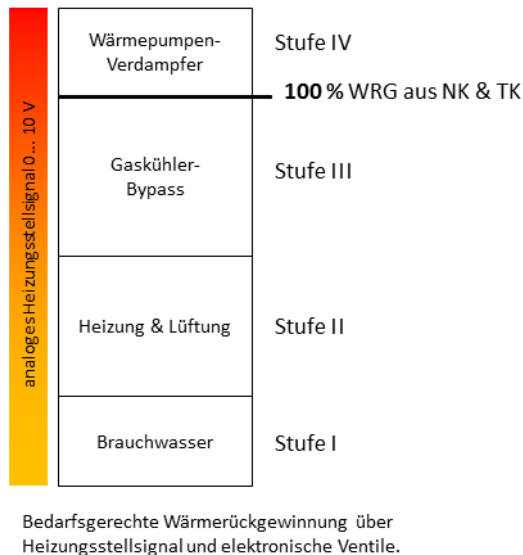


Abb. 7: Bedarfsgerechte Wärmerückgewinnung (Grafik: Meilbeck)

Zur Regelung der Wärmerückgewinnung wird ein bedarfsabhängiges analoges Heizungssignal von 0 bis 10 V genutzt. Die Wärmerückgewinnung erfolgt in 4 Stufen, die kontinuierlich über elektronische Ventile „abgefahren“ werden.

Wird mehr Wärme zum Heizen benötigt, als die Kälteanlage bzw. die Kühlstellen momentan bereitstellen, können zusätzlich 2 Wärmepumpenverdampfer (Luftkühler) mit einer Gesamtleistung von 100 kW zugeschaltet werden (Stufe IV), um dem Kältemittelkreislauf zusätzlich Wärme zuzuführen. Was für den Laien zunächst widersinnig erscheint (Warum sollte man Wärme von außen in das System einbringen?), wird verständlich, wenn man sich die COP-Werte (Coefficient of Performance oder Leistungszahl) für das Kältemittel CO<sub>2</sub> vor Augen führt. Im Wärmepumpenbetrieb können hier erstklassige COP-Werte von bis zu 4,2 erreicht werden. Der COP gibt das Verhältnis der Wärmeleistung („Output“) zur (elektrischen) Leistung („Input“) an. Im Vergleich zu einer Elektroheizung mit einem COP von 1 (1 kW Strom für 1 kW Wärme) oder einer Gastherme mit einem COP unter 1 ergibt sich damit ein enormer Effizienzgewinn bei einer CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe. Die kostenlose Wärme der Umgebungsluft lässt sich über eine Wärmepumpe kostengünstig als Ressource technisch nutzen.

Integriert in eine große Kälteanlage mit Wärmerückgewinnung wie hier, können so sehr effektiv Wärmebedarfsspitzen bedient werden, wenn die Abwärmeleistung der Kälteanlage nicht ausreicht. Erst wenn alle regenerativen Wärmequellen ausgeschöpft sind oder bei extremen Verbrauchsspitzen oder Außentemperaturen unter -5 °C, muss der Brennwertkessel (235 kW Leistung) zum Mitheizen aktiviert werden. Nur an 10 bis 15 Tagen im Jahr liegt die Tagesdurchschnittstemperatur in unseren Breiten unter -5°C. Mit der Abwärme der Kälteanlage und der Außenluft als regenerative Wärmequelle stellt das System eine maximale Wärmeleistung von 300 kW für Brauchwassererwärmung und Heizung bereit.



Die Heizungsanlage verfügt über einen 9 m<sup>3</sup>-Speicher (168 kW). Damit lassen sich Leistungsschwankungen in der Wärmerückgewinnung gut ausgleichen und immer genügend Wärme bereitstellen. Entsprechend steht ein 750 l-Speicher für die Brauchwasserbereitstellung zur Verfügung.

Der Großmarkt spart durch das innovative Wärmerückgewinnungskonzept erhebliche Energiekosten bei der Heizung und Brauchwasserbereitung und senkt so nebenbei auch seine primären CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Erdgas. Die Investition in WRG wird sich schon nach ca. 1,5 Jahren amortisiert haben dank der geringeren Betriebskosten.

### Kühlmöbel und Kühlräume optimal betreiben

Die Kühlmöbel und Kühlräume sind alle mit elektronischen Expansionsventilen ausgestattet, was eine optimale Regelung ermöglicht. Durch die Vernetzung findet die Systemregelung autoadaptiv den besten Betriebspunkt. Ein weiterer wesentlicher Faktor für die Energieeffizienz ist die bedarfsgerechte Abtauung auf Basis intelligenter, autoadaptiver Abtauverfahren.

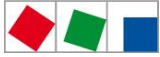
### Kontinuierliches Anlagentuning

Für den C + C Großmarkt wurde eine ganzheitliche Energiedatenerfassung eingerichtet. So kann sich der Betreiber und das DFÜ-Überwachungs-Zentrum Meilbeck (siehe Abb. 8) jederzeit ein detailliertes Bild von den Verbräuchen machen und Potentiale zur Optimierung identifizieren. Denn Energiemanagement ist ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess, der eine Anlage im laufenden Betrieb immer besser macht. Für das professionelle Energiecontrolling bieten LDSWin und LDSWeb zahlreiche Analyse-Werkzeuge.



Abb. 8: LDSWeb unterstützt Betreiber beim aktiven Energiemanagement. (Foto: Meilbeck)





## Erfolgsfaktor Kältetechnik

Im Lebensmittelhandel wird Energie zu einem immer wichtigeren Wettbewerbsfaktor. Primär verantwortlich dafür sind die steigenden Energiepreise und der wachsende Bedarf an Kühlung. Denn die Nachfrage insbesondere für Tiefkühlprodukte wächst weiter stark und das Sortiment an gekühlten und tiefgekühlten Produkten wird immer umfangreicher.

Investitionen in energieeffiziente Technik sind daher ein wichtiger Grundstein für einen langfristigen Geschäftserfolg. Allen voran betrifft dies die Kältetechnik als Gewerk mit dem größten „Energiehunger“, gefolgt von Heizung, Klima und Lüftung, Warmwasserbereitung und, nicht zu vergessen, die Beleuchtung. Bei einem Lebensmittelsupermarkt entfallen heutzutage im Schnitt ca. 45 Prozent der Stromkosten auf die Kühlung. Energieeffizientere Konzepte für die Kühlung und die integrierte Nutzung der vorhandenen Abwärme zum Heizen und zur Brauchwassererwärmung sind besonders wirksame Strategien, um die Betriebskosten langfristig zu minimieren. In der Supermarktkälte setzen sich solche Integralsysteme mit einem intelligenten, gewerkeübergreifenden Kälte-Wärme-Management zunehmend als Standard durch. Und das mit gutem Grund: Die Abwärme einer durchschnittlichen Supermarkt-Kälteanlage ist um ein Vielfaches höher als der jährliche Bedarf an Wärme.

Die SB Union betreibt die derzeit größte CO<sub>2</sub>-Kälteanlage Mittelhessens. Durch eine bedarfsgerechte Kühlung (4 t<sub>0</sub> Temperaturzonen) und konsequente Abwärmenutzung benötigt die Anlage im laufenden Betrieb signifikant weniger Energie als Anlagen vergleichbarer Größe.

Niemand bezweifelt heute noch, dass Systemlösungen für die Kälte-Wärme-Kopplung die Zukunft im Lebensmittelhandel gehört. Hierbei kommt es allerdings entscheidend auf die Planung und Auslegung der Anlage an, damit der Betreiber tatsächlich von den Vorteilen der Technologie profitiert. Die Firma Meilbeck Kälte- und Klimatechnik GmbH hat gemeinsam mit Technologiepartnern und Systemlieferanten Eckelmann AG und compact Kältetechnik GmbH sowie dem Planungsbüro ecoplan GbR gezeigt, welches Potential in CO<sub>2</sub> als natürliches Kältemittel steckt. Und dass sich Investitionen in moderne Technik auch betriebswirtschaftlich schnell rechnen, beweist das ausgeklügelte WRG-Konzept. In nur 1,5 Jahren wird sich die Investition in die WRG schon amortisiert haben wegen der großen Einsparung an Betriebskosten für eine Heizung mit fossilen Brennstoffen. Ein Großteil des Wärmebedarfs wird jetzt regenerativ und umweltfreundlich gedeckt.

### Autoren:

Roland Meilbeck, Geschäftsführer und Inhaber der Meilbeck Kälte- und Klimatechnik GmbH, Grünberg, [www.meilbeck.de](http://www.meilbeck.de)

Jens Uwe Meyer, stellvertretender Vertriebsleiter Kälte- und Gebäudeleittechnik der Eckelmann AG, Wiesbaden, [www.eckelmann.de](http://www.eckelmann.de)

### Kontakt:

Eckelmann AG

Berliner Straße 161

65205 Wiesbaden

Deutschland

Telefon: +49 (0)611 7103-0

E-Mail: [info@eckelmann.de](mailto:info@eckelmann.de)