

INTEGRATION EINER EXPANSIONS-KOMPRESSIONS-EINHEIT IN EINE TRANSKRITISCH ARBEITENDE CO₂-KÄLTEANLAGE

Bei der Druckentspannung Energie gewinnen

Anlagen mit CO₂ als Kältemittel nehmen stark zu. Für eine effiziente Kälteerzeugung kann heute auch die Druckentspannung zur gleichzeitigen Unterstützung der Verdichtungsarbeit genutzt werden. Dank der innovativen Expansions-Kompressions-Einheit, welche weltweit erstmalig in einer Praxisanlage installiert wurde, lässt sich auch bei diesem Prozessabschnitt Energie zurückgewinnen. Raphael Gerber, CH-Gümligen, und Jürg Wellstein, CH-Basel

Gewerbliche Kälteanlagen benötigen viel Energie. Bei elektrisch betriebenen Kompressoreinheiten erscheint diese Tatsache als hohe Stromrechnung. Grund genug, an Effizienzmaßnahmen zu denken. Dazu gehören z. B. intelligente Regelungen, verbesserte Wärmeübergänge, mehrstufige Prozesse usw. Aber auch bei der Entspannung des Kältemittels lässt sich Energie sparen. Was seit langem theoretisch bekannt war, haben die Frigo-Consulting AG in Gümligen, die Technische Universität Dresden und die Alpiq InTec West AG nun gewagt: Die Integration einer Expansions-Kompressions-Einheit in eine transkritisch arbeitende CO₂-Kälteanlage. Als Weltneuheit nahm man 2010 diese Einheit beim neu erstellten Prodega Cash+Carry in Basel in Betrieb.

Verdichtungsarbeit aus der Entspannung

Mit dem Einbau dieser Expansions-Kompressions-Einheit kann die Entspannungsarbeit der Kälteanlage in Verdichtungsarbeit übertragen werden. Die Expansionsstufen ersetzen Expansionsventile und wandeln die Druckdifferenz in Energie



Bild: Wellstein Kommunikation GmbH

Raphael Gerber: „Wir gewinnen Energieeffizienz, indem bei transkritischen CO₂-Kälteanlagen die Entspannungsarbeit zur gleichzeitigen Unterstützung der Verdichtungsarbeit genutzt wird.“

um, welche zur Kompression in einer zweiten Verdichtungsstufe genutzt wird. Damit vermindert sich der notwendige Aufwand für die installierten Kompressoren und die Kälteleistungszahl wird erhöht. Im Jahresdurchschnitt sollen zehn bis 15 Prozent der Energie eingespart werden; bei hohen Außentemperaturen sind bis zu 25 Prozent möglich.

Das Ingenieurbüro Frigo-Consulting AG hat vor acht Jahren seine Aktivitäten in Richtung Forschung und Entwicklung ver-

stärkt und mittlerweile ein Team etabliert, das sich mit innovativen Lösungen im Kältebereich befasst. Durch die internationalen Kontakte kam man auch mit der TU Dresden zusammen, die mit einer Expansions-Kompressions-Einheit experimentierte. Aufgrund der Tatsache, dass die Frigo-Consulting AG umfassende Erfahrungen mit CO₂-Kälteanlagen aufweist und auch viele Installationen mit transkritischem Betrieb geplant hat, war der Schritt in die Praxis machbar. In den vergangenen fünf Jahren konnte die Frigo-Consulting AG über 100 transkritisch arbeitende CO₂-Anlagen planen und damit ihre Kompetenz in diesem Bereich ausbauen. Heute dürften insgesamt mehrere Hundert CO₂-Anlagen in der Schweiz in Betrieb sein. Die Vorteile dieses natürlichen Kältemittels sind offensichtlich.

Kohlendioxid überzeugt als Kältemittel

Das Kältemittel CO₂ ist heute für viele Anwendungen geeignet, es ist nicht toxisch und besitzt ein vernachlässigbares Treibhauspotenzial. Es bietet aufgrund seiner höheren Arbeitstemperaturen auch bei der Nutzung von Abwärme Vorteile. Es ergeben sich ökologische und wirtschaftliche Potenziale. Im Weiteren ist auch das thermodynamische Verhalten von Kohlendioxid für die Kältetechnik positiv. Allerdings entstehen beim Einsatz von CO₂ aufgrund des niedrigen kritischen Punkts hohe „Verflüssigungsdrücke“. Diese können dank ausge-



Raphael Gerber, verantwortlicher Ingenieur für Forschung und Entwicklung bei der Frigo-Consulting AG, CH-Gümligen

reifer Komponenten zuverlässig bewältigt werden. Bei transkritischen Anlagen verläuft der Kälteprozess auch über dem kritischen Punkt des Kältemittels, der bei CO₂ bei +31 °C liegt. Das überkritische Gas wird hierbei nicht mehr verflüssigt, sondern nur noch abgekühlt.

All diese Faktoren haben auch bei der Entwicklung der Expansions-Kompressions-Einheit durch die TU Dresden eine wichtige Rolle gespielt. Sie wurde modular aufgebaut, besteht aus Stahl und Messing und ist rund 50 cm lang. Die Einheit ist mit axial beweglichen, doppelt wirkenden Kolben ausgestattet, umfasst eine Verdichtungsstufe und zwei Entspannungsstufen. Die Zufuhr in die Expansionszylinder erfolgt mit einem Schiebermechanismus. Für den Einsatz in der Praxis waren auch die hohen mechanischen Belastungen sowie eine steuerungstechnisch optimale Kombination mit der geplanten konventionellen Anlage vorzusehen.

Entwicklungszusammenarbeit

Die TU Dresden erstellte eine Vorstudie und das auf die Schweizer Anlage angepasste Konzept und hat die Maschine anhand eines Lastprofils dimensioniert und konstruiert. Zusätzlich hat die TU Dresden eine Regelstrategie entwickelt, die zum einen die Anpassung des Hochdrucks und zum anderen die Anpassung der Maschine an den Jahresgang ermöglicht. Gleichzeitig erfolgte die Evaluation der nötigen Komponenten durch die Frigo-Consulting AG. Die Alpiq InTec West AG hat die Anlage mit Steuerung erfolgreich mitgeplant und umgesetzt. Unterstützung fand dieses Projekt auch beim



Bild: Wellstein Kommunikation GmbH

Kälteanlage für den Pluskühlbereich des neuen Prodega Cash+Carry in Basel: Vier Verdichter stehen im Einsatz.

entsprechenden Forschungsprogramm des Schweizer Bundesamts für Energie (BFE). Neben dem Einbau interessierten natürlich auch der Anlagenbetrieb und die erreichbaren Energieeinsparungen. So wird nun eine Messdatenerfassung durchgeführt und die Möglichkeit geschaffen, die Wirkung einer solchen Einheit unter realen Bedingungen und im direkten Vergleich mit der Standardanlage längerfristig untersuchen zu können.

Die Frigo-Consulting AG war für die Planung der Kälteanlagen des neuen und gleichzeitig größten Schweizer Prodega Cash+Carry in Basel zuständig. Die Verkaufsfläche von 5300 m² ist in mehrere Temperaturzonen aufgeteilt. Für Frischwaren (Gemüse, Früchte usw.) stehen 900 m² „Cool Way“ mit +12 °C zur Verfügung. Aus diesem Bereich sind u. a. auch die integralen Kühlschränke zugänglich, welche von dahinter liegenden Kühlräumen (+1 bis +6 °C) beschickt werden. Die Kälteanlage mit der neuen Expansions-Kompressions-Einheit arbeitet für diesen Temperaturbereich.

Die installierte Kälteleistung beträgt 85 kW, es stehen vier Verdichter (Kompressoren) im Einsatz, der Hochdruck liegt im Sommer bei 90 bar, maximal zulässig sind 115 bar. Auf dem Dach sind die Gaskühler platziert, welche eine Leistung von 140 kW aufweisen. In den Verkaufsräumen sind insgesamt neun Verdampfer an den Decken montiert und mit Schlauchluftverteiler versehen.

Die von der TU Dresden konzipierte Expansions-Kompressions-Einheit ersetzt Drosselventile und wandelt die Druckdifferenz in Energie um.

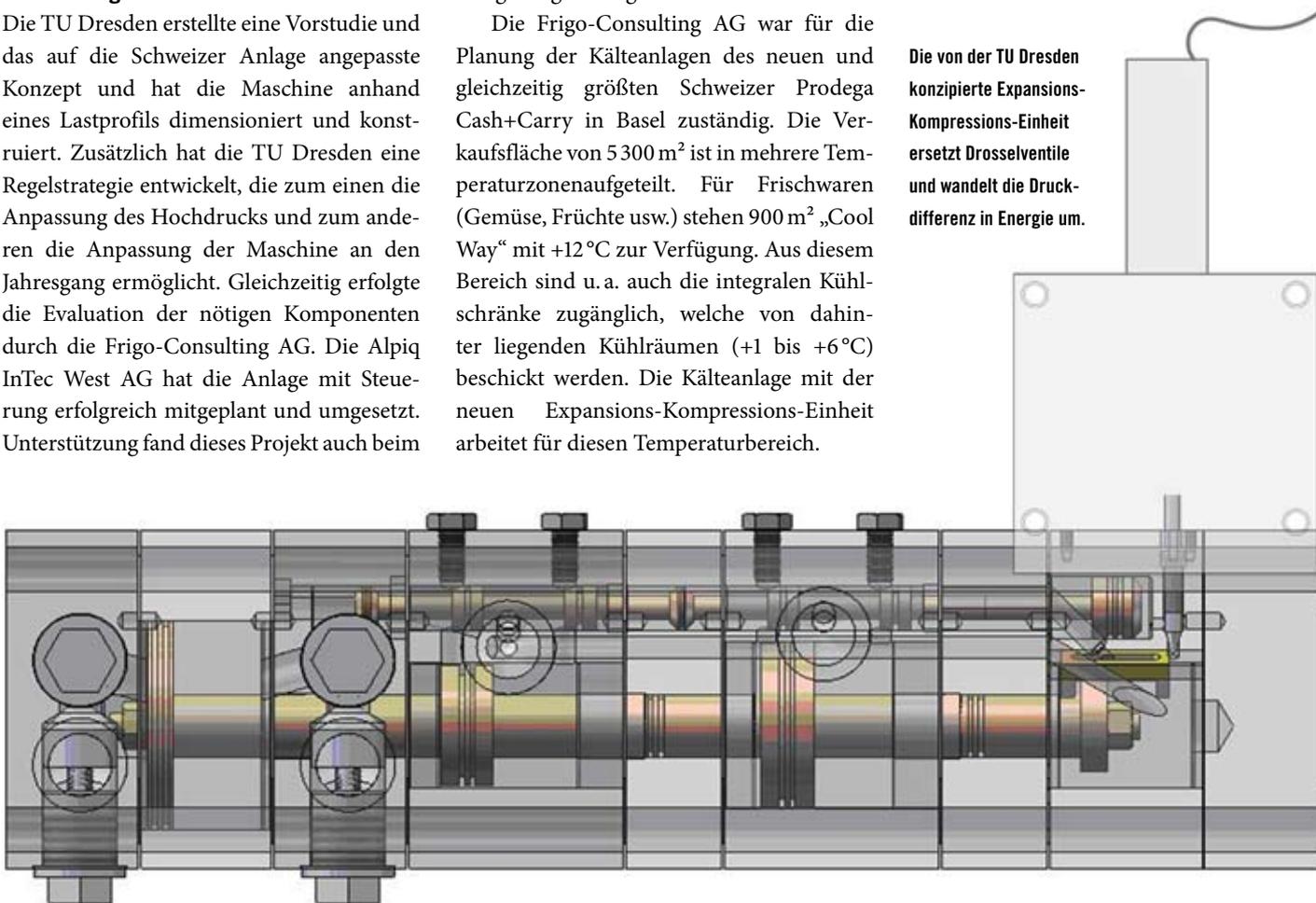
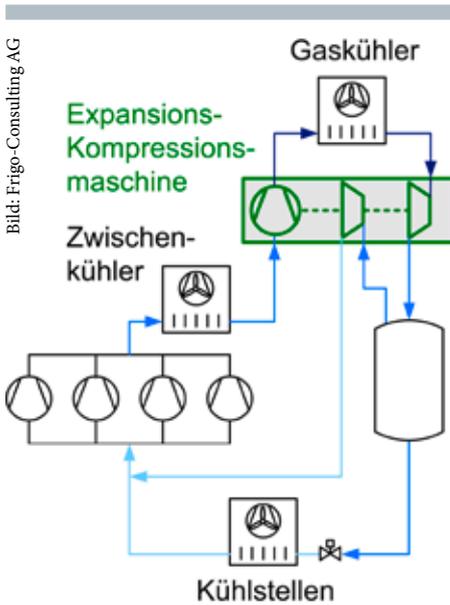


Bild: TU Dresden



Die beim Prodega Cash+Carry installierte Einheit umfasst zwei Entspannungsstufen, welche eine Verdichtungsstufe antreiben. Um die nötige Redundanz zu gewähren, ist die Einheit umschaltbar.



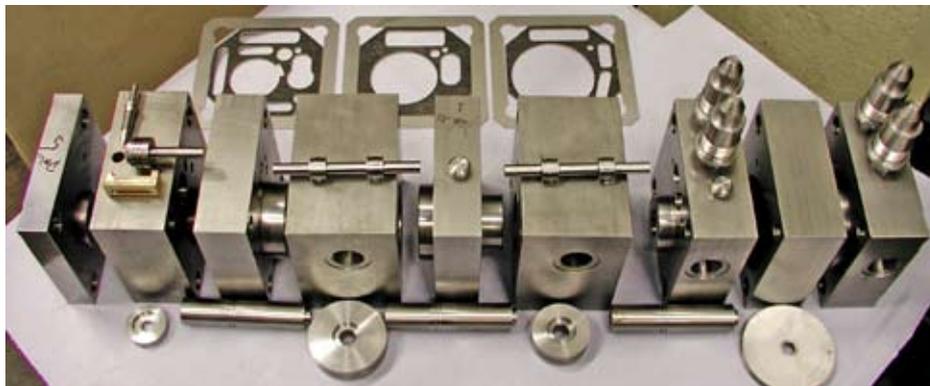
Der Temperaturbereich 1–6 °C (hinten) bei Prodega Cash+Carry in Basel wird durch die Kälteanlage mit der Expansions-Kompressions-Einheit versorgt.

Zuverlässigkeit dank umschaltbarer Anordnung

Die Integration der Expansions-Kompressions-Einheit musste so erfolgen, dass eine Redundanz besteht, die Kälteanlage also auch ohne diese Neuheit voll funktionsfähig ist. Mit parallel zur Einheit angeordneten Drosselventilen kann die Regelung nach den Vorgaben einer Standardanlage erfolgen und mit automatisierten Absperrven-



Neun Verdampfer mit Schlauchluftverteilern sind an den Decken platziert.



Die Expansions-Kompressions-Einheit ist modular aufgebaut und besteht aus Stahl und Messing. Sie weist Dimensionen von 50 x 13 x 13 cm auf und arbeitet mit einem axial beweglichen, doppelt wirkenden Kolben.

druck und nutzt die gewonnene Entspannungsarbeit, um gasförmiges CO₂ zu verdichten. Die erste Stufe der Expansions-Kompressions-Einheit expandiert CO₂ von Hochdruck auf Mitteldruck in den Flüssigkeitsabscheider; die zweite Stufe expandiert Flashgas vom Mitteldruck auf Niederdruck.

Weitere Entwicklungsarbeit nötig

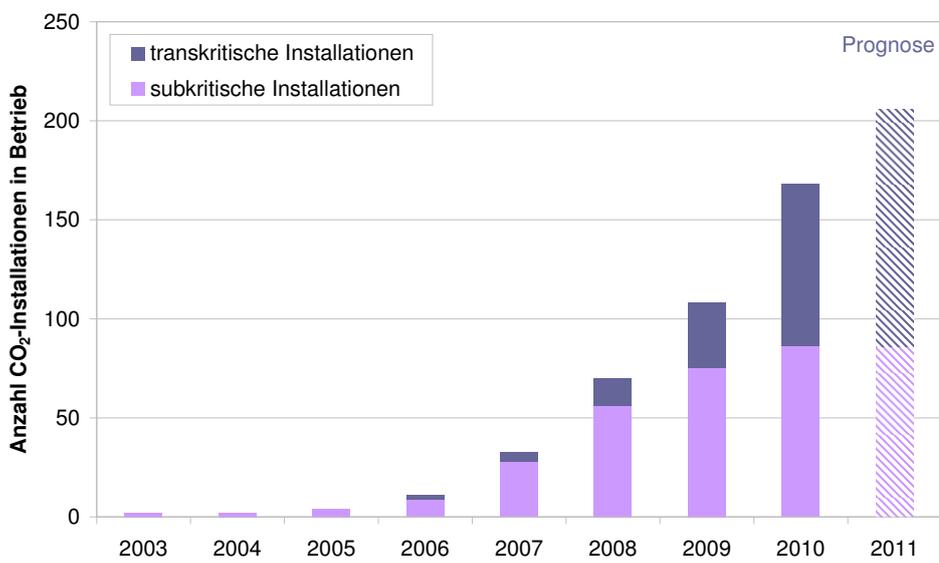
Mit der Integration der Expansions-Kompressions-Einheit konnten bereits wertvolle Erfahrungen gemacht werden. Dank einem von der Effizienzsteigerung überzeugten Bauherrn ließ sich der innovative Schritt gemeinsam machen. Die erweiterte Steuerung ermöglicht eine optimierte Arbeitsweise der Anlage, indem der Kältemittel-Durchfluss geregelt wird und dadurch die Frequenz der Maschine im Bereich von 0 bis 5 Hz variiert. Durch die Schälvorgänge entstanden jedoch Pulsationsschläge, die mit einem zusätzlichen Dämpfer gemindert werden konnten.

tilen lässt sich der Betrieb umstellen. Die Anlage wurde für den Einsatz der neuen Einheit mit folgenden Zusatzkomponenten ausgestattet: den Absperrventilen, Sicherheits- und Regelventilen, Ölrückführsystem, Zwischenkühler, Anzeige- und Datenerfassungsgerät für Druck und Temperatur. Die speziell entwickelte Regelung steuert die Drehzahlen von Verdichter und Ventilatoren.

Wird die Expansions-Kompressions-Einheit eingeschaltet, so ersetzt sie die Hauptregelventile für Hoch- und Mittel-



Die Expansions-Kompressions-Einheit wurde in der Kälteanlage integriert.



Der Einsatz von CO₂-Kälteanlagen im Schweizer Großgewerbe nimmt stark zu, wie dies die Referenzen der Frigo-Consulting AG bestätigen.

Bild: Frigo-Consulting AG

Die aus zahlreichen Einzelteilen zusammengesetzte Einheit stellt hohe Anforderungen an das Dichtungssystem. Die dynamischen Vorgänge beanspruchen die Dichtungsstellen und -materialien. Leckagen müssen aber vermieden werden. Die weitere Entwicklungsarbeit wird sich einerseits auf diese spezifischen konstruktiven Probleme konzentrieren, andererseits eine vereinfachte Integration sowohl bei Neuanlagen als auch bei bestehenden Installationen anstreben. Im Hinblick auf den weiterhin zunehmenden Einsatz von CO₂-Kälteanlagen stellt die additive Nutzung der Entspannungsarbeit zur gleichzeitigen Unterstützung der Verdichtungsarbeit einen wichtigen Aspekt der Energieeffizienzsteigerung dar. ■