



**Jahresbericht** 15. Dezember 2009

---

## **Effiziente Kälteerzeugung**

Integration einer Expansionsmaschine in ein  
CO<sub>2</sub>-Kältesystem

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm «Wärmepumpen, WKK, Kälte»  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Kofinanzierung:**

Frigo-Consulting, CH-3073 Gümligen

**Auftragnehmer:**

Frigo-Consulting AG  
Feldstrasse 30  
CH-3073 Gümligen  
[www.frigoconsulting.ch](http://www.frigoconsulting.ch)

**Autoren:**

Raphael Gerber, Frigo Consulting AG, [r.gerber@frigoconsulting.ch](mailto:r.gerber@frigoconsulting.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Andreas Eckmanns

**BFE-Programmleiter:** Thomas Kopp

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 154359 / 103308

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

## Abstract

Das Kältemittel CO<sub>2</sub> kommt in stationären Kälteanlagen vermehrt zum Einsatz. Die relativ schlechte Leistungszahl des teilweise transkritischen Kaldampfprozesses mit CO<sub>2</sub> kann durch Minimierung der Drosselverluste mit einer arbeitsleistenden Entspannung thermodynamisch verbessert werden. In einer realen Anlage im Feld soll eine Expansions-Kompressions-Maschine in eine CO<sub>2</sub>-Kälteanlage integriert und in Betrieb genommen werden.

Die Expansions-Kompressions-Maschine wurde anhand eines Lastprofils dimensioniert, konstruiert und hergestellt. Für die Integration der Maschine in die Kälteanlage sind zusätzliche Komponenten wie Zwischenkühler, Rohrleitungen, Armaturen und Regelkomponenten ausgewählt, dimensioniert und bestellt worden.

Bei der zu integrierenden Maschine handelt es sich um eine Hubkolbenmaschine mit Verdichtungs- und Expansionsteilen und variabler Förderleistung, welche geregelt werden muss. Die Entwicklung dieser Regelung ist im Gange und wird demnächst umgesetzt. Nach Einbau und Inbetriebnahme der Expansions-Kompressions-Maschine kann anschliessend anhand von aufgezeichneten Messdaten das Betriebsverhalten untersucht und ausgewertet werden.

Mit dem Projekt wird sich zeigen, ob die Integration einer solchen Maschine zur Effizienzsteigerung bei gewerblichen Kälteanlagen einfach realisierbar und wirtschaftlich ist und für zukünftige oder bestehende Kälteanlagen eine anwendbare Option darstellt.

## Summary

Carbon dioxide is meanwhile often used as a refrigerant in stationary refrigeration systems. The comparatively poor coefficient of performance in a transcritical CO<sub>2</sub> cycle can be improved by minimizing the thermodynamic throttling losses with a expansion-compression unit. In this project, a two stage expander will be integrated in a CO<sub>2</sub>-refrigeration system to verify the feasibility and the performance of the system in the field.

The expansion-compression machine was designed and dimensioned with the help of a load profile and then machined and assembled. The integration of the machine into the refrigeration system required evaluation, design and ordering of additional components such as an intercooler, piping, valves and control components.

For a successful integration of the expansion-compression unit, its variable flow will have to be regulated. The regulation scheme is being developed and will soon be implemented. As soon as the last arrangements are complete, the expansion-compression unit will be built into the system and commissioned. Measurement data will show the behavior and the performance of the system.

This Project will give first results on whether the combination of a CO<sub>2</sub> refrigeration system with an expansion-compression unit is actually feasible and economically acceptable for this application in new or existing refrigeration plants.

# Projektziele

Im Jahresmittel weisen Pluskühlanlagen bei Grossgewerbekälteanlagen gegenüber herkömmlichen Kältemitteln bereits etwa 10% bessere Leistungszahlen auf, obwohl der Prozess mit CO<sub>2</sub> bei hohen Aussentemperaturen grosse thermodynamische Verluste beim Drosselvorgang aufweist. Entsprechend lässt sich der Leistungsbedarf von CO<sub>2</sub>-Anlagen im Pluskühlbereich weiter senken, wenn man eine Expansionsmaschine einbindet, welche die Drosselung des Kältemittels ersetzt.

Die Aufnahmeleistung der Verdichter könnte im besten Fall je nach Betriebszustand um bis zu 40% reduziert werden [1]. Im Jahresmittel sind jedoch deutlich tiefere Werte zu erwarten und werden schätzungsweise bei 10% liegen. Entsprechend wird mit der Expansions-Kompressions-Maschine (ECU) im geplanten Objekt mit einer Einsparung von jährlich ungefähr 10'000 kWh elektrische Energie gerechnet.

In einer neuen Kälteanlage mit ca. 80 kW Kälteleistung soll ein Prototyp der Expansions-Kompressions-Maschine (ECU) im Feldversuch in die CO<sub>2</sub>-Kälteanlage integriert und in Betrieb genommen werden. Die Einbindung der Maschine in die Kälteanlage wurde in früheren Arbeiten der *Technischen Universität Dresden (TUD)* konzeptionell untersucht. Nun war das Ziel der Arbeit, die geeignete Einbindung für die konkrete Anwendung zu definieren, eine Maschine anhand des geforderten Lastprofils zu dimensionieren und zu konstruieren sowie diese später in die Kälteanlage einzubauen und in Betrieb zu nehmen.

Die Kälteanlage, die im Feldversuch mit der ECU erweitert wird, befindet sich im Bau und wird Anfangs 2010 geliefert und installiert. Im Berichtsjahr war unter anderem das Ziel, geeignete Komponenten zu evaluieren und zu dimensionieren, welche für die Integration der ECU nötig sind:

- Expansions-Kompressions-Maschine (ECU)
- Sicherheits-, Absperr- und Regelventile, teilweise automatisiert
- Filter, Ölabscheider, Magnetventile, Sicherheitsventile, Druckanzeigergeräte
- Zwischenkühler und Wärmeübertrager
- Zusätzlicher Frequenzumformer für einen Verdichter
- Sensorik für Druck und Temperatur
- Zusatzkomponenten Elektroschrank
- Zusatzkomponenten Regelung
- Frei programmierbare Steuerung (SPS)

Die Integration der ECU muss so erfolgen, dass diese eine Option zur Kälteanlage darstellt. Die Kälteanlage wird so gebaut und installiert, dass diese ohne ECU vollständig funktionsfähig ist und alle Komponenten enthält, die für eine Standardanlage nötig sind.

Um die Kälteanlage mit ECU zu betreiben, sind verschiedene Regelungen mit der Anforderung an hohe Betriebssicherheit und Energieeffizienz zu entwickeln. Diese Aufgabe erforderte die Entwicklung und Definition von:

- Regelalgorithmen
- Schnittstellen
- elektrischen Funktionen

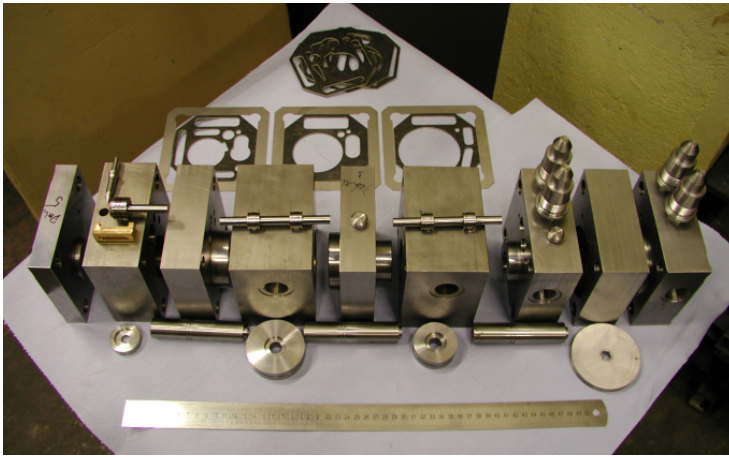
Die *TUD* ist für die Auslegung des ECU selbst und die konzeptionelle Integration desselben verantwortlich. Die Maschine musste für die Anwendung in der geplanten Kälteanlage so dimensioniert werden, dass diese die geforderten Betriebspunkte bestmöglich abdeckt.

Mit dem Projekt wird sich zeigen, ob die Integration einer solchen Maschine zur Effizienzsteigerung bei gewerblichen Kälteanlagen einfach realisierbar ist und für zukünftige oder bestehende Kälteanlagen eine anwendbare Option darstellt.

## **Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse**

Im Berichtsjahr wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- Erstellen eines detaillierten RI-Schemas der Kälteanlage zur Integration der Expansions-Kompressions-Maschine (ECU)
- Evaluation und Auslegung von geeigneten Komponenten, die zusätzlich zur Standardanlage benötigt werden. Einige Komponenten mussten gesucht und entsprechend dimensioniert werden. Andere hingegen waren in der Bauart nur anzupassen, insbesondere aufgrund der höheren Anforderungen an den zulässigen Betriebsdruck.
- Suche nach schnellen Stellantrieben für Umstellventile
- Erstellen einer Datenpunktliste als Grundlage für zusätzlich benötigten Regelkomponenten und die Entwicklung der Regelung selbst
- Erstellen einer Regelbeschreibung für den Teil ECU sowie für die gesamte Kälteanlage
- Definition und protokollieren von Regelfunktionen, die in die Standardanlage integriert werden sollen
- Abklärung diverser technischer Details wie Wirkungsgrade, Stell- und Regelverhalten, Anforderung an die Schmierung
- Evaluation eines geeigneten Partners zur Umsetzung der Regelfunktionen
- Erweiterungen der elektrischen Teile an der Kälteanlage erarbeiten und schematisch zeichnen
- Auslegung, Konstruktion und Herstellung der ECU (siehe Figur 1)



FIGUR 1 EINZELTEILE DER ECU VOR DEM ZUSAMMENBAU (TUD)

## Nationale Zusammenarbeit

Im Projekt arbeiten national vorwiegend Mitarbeiter der Firma *Frigo-Consulting AG* sowie Mitarbeiter der Firma *Alpiq* zusammen, wobei letztere in die Bereiche Kältetechnik und Prozessautomation einzuteilen ist. Beide Firmen haben sich für die Entwicklungsarbeit bereit erklärt und werden den Grossteil der Entwicklungsarbeiten ausführen.

Die Zusammenarbeit zeigt sich sehr konstruktiv und fruchtend. Das spezielle und sehr interessante Projekt motiviert die Beteiligten sehr.

## Internationale Zusammenarbeit

Die *TUD* tritt als Projektpartner in einem Unterauftrag auf. Die Entwicklung, Konstruktion und Herstellung der ECU erfolgte durch Dr. J. Nickl und dipl. Ing. M. Wenzel, der das beschriebene Projekt als Bestandteil seiner Doktorarbeit nutzt. Für die Integration der ECU in die Kälteanlage hat die *TUD* einen detaillierten Regelbeschrieb entwickelt, der nun erweitert und umgesetzt werden kann. Die Zusammenarbeit zeigt sich sehr konstruktiv.

Die Firma *Wurm* als Lieferant der Regelung für die Standardanlage zeigte sich äusserst kompetent und kooperativ in der Erweiterung ihrer Komponenten für die Realisation des Projektes. Um die Regelung im Detail zu planen war es hilfreich, die Herren H. Dreisbach und Dr. H. P. Wurm für eine technische Besprechungen zu besuchen.

## Bewertung 2009 und Ausblick 2010

Zu den **Erfolgen** im Berichtsjahr zählt die Auslegung, Konstruktion und Herstellung der ECU durch die *TUD*. Die Maschine wurde termingerecht erstellt und steht demnächst für die Lieferung bereit. Die Zusammenarbeit mit der *TUD* war durchweg angenehm und konstruktiv. Der Austausch von Informationen für das Verständnis der Arbeitsweise der Kälteanlage sowie der ECU war für *Frigo-Consulting AG* sowie die *TUD* sehr wichtig.

Ebenfalls erfolgreich waren die Planungsarbeiten zur Erweiterung der Standard-Anlage mit den erwähnten Komponenten sowie das Erstellen der nötigen Schemata und einer Schnittstellenliste.

Durch einen intensiven Austausch mit dem Lieferant der Regelung für die Standardanlage war es möglich, Teile der Regelfunktionen für den ECU direkt in diese Regelung zu integrieren und damit die Umsetzung der Funktionen zu vereinfachen.

Als **Misserfolg** könnte verzeichnet werden, dass der Umfang der zusätzlich benötigten Komponenten unterschätzt wurde. Dies betrifft sowohl die Komponenten in der Kälteanlage (Armaturen, Rohre, Kühler, Ölabscheider) sowie die Komponenten zur Regelung und insbesondere die elektrischen Anpassungen und Erweiterung. Das Erstellen eines Regelbeschriebes für die gesamte Anlage war komplexer als anfänglich angenommen und verzögerte die Planung der elektrischen Komponenten.

Ursprünglich wurde das Ziel verfolgt, die Integration der ECU so zu konzipieren, dass diese keine Anpassung der Standard-Anlage benötigt sondern nur Erweiterungen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass dies im laufenden Projekt kaum oder nur sehr aufwändig zu realisieren wäre.

Für künftige Projekte sollte zudem durch eine intensivere Zusammenarbeit mit der TUD das gewählte Konzept zur Integration sowie die nötigen Komponenten möglichst vereinfacht werden.

## Referenzen

- [1] Riha, J., 2005, **Einbindung einer Expansionsmaschine in CO<sub>2</sub> Supermarkt-Kälteanlagen**, DKV Tagung, Würzburg