



Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) René Jugert, MMA05

Thema: Simulation des Systemverhaltens einer Kfz-Klimaanlage mit dem Kältemittel CO<sub>2</sub>

### 1. Problemstellung- und Aufgabenstellung

In den letzten Jahren hat sich der Trend verstärkt, Fahrzeuge mit Klimaanlage auszustatten. Daher stellt sich die Frage nach der Wahl des Kältemittels und der Umweltverträglichkeit allgemein.

Ein Gesetzentwurf der Europäischen Union sieht für die Typenzulassung neuer Fahrzeuge ab dem Jahre 2011 ein umweltfreundlicheres Klimasystem vor [Heinle, Dieter ATZ 09/2005]. Eine Möglichkeit ist die Umstellung der Pkw-Klimaanlagen auf das natürliche Kältemittel R744 (Kältemittelbezeichnung für CO<sub>2</sub>). Daher müssen zum einen die Klimasysteme auf ein neues Kältemittel umgestellt werden und zum anderen sollen Optimierungspotentiale untersucht bzw. ausgeschöpft werden.

Im Bereich der Entwicklung besteht schon lange der Anspruch die Entwicklungszeiten zu verkürzen und damit Kosten zu senken. Dies wird vermehrt durch den Einsatz von Simulationen bewerkstelligt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Modell für einen Kälte-Kreislaufs aus verschiedenen Komponenten erstellt. Dabei wurden die einzelnen Komponenten und das Kältekreislaufmodell anhand von vorhandenen Messdaten aus Teststandsversuchen validiert.

### 2. Umsetzung

#### CO<sub>2</sub> Kältekreislauf in PKW-Anwendungen

CO<sub>2</sub> Kältekreislauf besteht grundlegend aus den Komponenten: Verdichter, Gaskühler, regelbares Nadelventil, Verdampfer, inneren Wärmeübertrager und Niederdrucksammler (siehe Abb. 1).

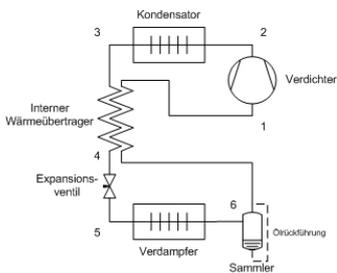


Abb. 1: Anlagenschema des betrachteten CO<sub>2</sub> Kälteprozesses

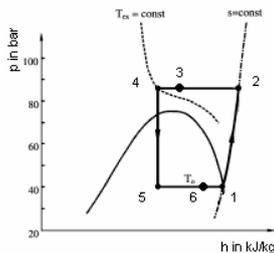


Abb. 2: Transkritischer CO<sub>2</sub> Kälteprozess im p-h Diagramm

#### Simulationstools

Die Simulationen in dieser Arbeit wurden mit Dymola (Dynamisim Ab) durchgeführt und dabei hauptsächlich die Modellbibliothek AirConditioning Library von Modelon Ab genutzt.

#### Dymola

Die Untersuchungen in dieser Arbeit wurden mit der Simulationsumgebung Dymola (Dynamic Modeling Laboratory ) durchgeführt. Dymola ist eine kommerzielle Modelica Simulationsumgebung der Firma Dynasim AB.

Eigenschaften von Dymola:

- Simulationsumgebung für die objektorientierte Modellierungssprache Modelica
- Simulation and Visualisierung von nichtlinearen, dynamischen Systemen
- Akausale Modellierung (automatische Gleichungsmanipulation)
- „Multi engineering“

### Modelica

Modelica ist eine objektorientierte Modellierungssprache. Dies umfasst damit die Sprachelemente: Klasse, Vererbung und Polymorphismus. Modelica ist eine freie Modellierungssprache und wird gepflegt und weiterentwickelt von der unabhängigen Modelica Association. Modelica ist eine junge Modellierungssprache und wurde 1996 auf Initiative von Hilding Elmqvist (Dynamisim AB) begonnen zu entwickeln. Im Dezember 1999 wurde mit der Version 1.3 die erste lauffähige Version vorgestellt.

#### Bibliothek: AirConditioning Library

Die AirConditioning Library ist eine Modelica Bibliothek für dynamische Simulationen von AC Systemen. Darin enthalten sind u.a. Modelle mit unterschiedlicher Komplexität für:

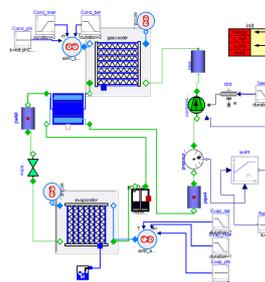


Abb. 3: Repräsentation des simulierten Kreislaufs in der grafischen Modellierungsoberfläche von Dymola

- AC-Kreisläufe
- Wärmeübertrager
  - Geometriebasierend
  - Verschiedene physikalische Beziehungen (z.B. Wärmeübergang, Druckverlust)
- Verdichter
- Expansionsorgane, Sammler
- Stationäre und instationäre Berechnungen

### 3. Ergebnisse

Bei allen Komponenten erfolgte die Validierung über einen großen und für eine Pkw-Klimaanlage relevanten Betriebsbereich. Es wurden stationäre Simulationen durchgeführt als auch instationäre Simulationen (z.B. Gaskühler). Die berechneten Wärmeströme an den Wärmeübertragern im Kältekreislauf unter stationären Betriebsbedingungen sind in Abbildung 4 dargestellt.

Bei den durchgeführten Simulationen konnten für einen Großteil der untersuchten Betriebspunkte Abweichungen der wichtigen physikalischen Größen von 5% für die Komponenten und 10% für Kreislaufsimulationen erreicht werden.

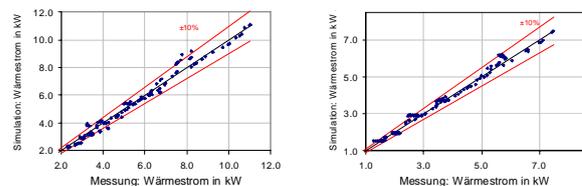


Abb. 4: Vergleich Simulation vs. Messung: kältemittelseitige Wärmeströme am Gaskühler (links) und Verdampfer (rechts)

### 3. Schlussfolgerung und Ausblick

Mit den verwendeten Tools und Modellen konnten zufriedenstellende Übereinstimmungen mit den Messwerten erreicht werden.

Neben der allgemeinen Abstimmung der untersuchten Komponenten und des Kreislaufes ist eine Untersuchung des Kreislaufes unter instationären Betriebszuständen von Interesse. Ebenso kann durch eine Kopplung des Kreislaufes mit einem Kabinenmodell das Abkühlverhalten des Fahrzeuginnenraumes untersucht werden. Durch eine zusätzliche Kopplung mit einem Motorenmodell, ist die Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs, die durch die Klimaanlage zusätzlich verursacht wird, möglich. Hierbei können Umwelteinflüsse (seasonal performance) und Fahrverhalten (NEDC-Test, New European Driving Cycle) untersucht werden.