

1.3 Hinführung zum Thema

Es ist allgemein bekannt, dass beim Einsatz von Kohlendioxid (R744) als Kältemittel im Vergleich zu anderen Kältemitteln wie R134a aufgrund der großen Druckdifferenz ($p_{Gaskuehler}^{Austritt} - p_{Verdampfer}^{Eintritt}$) üblicherweise hohe Drosselverluste auftreten, die durch die vollständige Dissipation der kinetischen Energie des beschleunigten Kältemittels mit der Geschwindigkeit 'w' und der Dichte ' ρ ' verursacht werden. Durch geeignete Expansionsorgane wie z.B. einen Ejektor können diese Drosselverluste reduziert werden.

Aufgrund der höheren Umgebungstemperatur in tropischen Gebieten ergibt sich eine höhere Gaskühler Austrittstemperatur (Punkt 3* in Abbildung 1.1). Diese führt zu einem größeren Drosselverlust ' Δh ', da die Steigung der Isentropen mit zunehmender Enthalpie kleiner wird. Deswegen ist die Nutzung eines Ejektors anstelle einer Drossel in Fall von höheren Umgebungstemperaturen sehr sinnvoll.

Die bei der Drosselung durchlaufenen Zustandsänderungen sind in Abbildung 1.1 in einem p,h-Diagramm dargestellt.

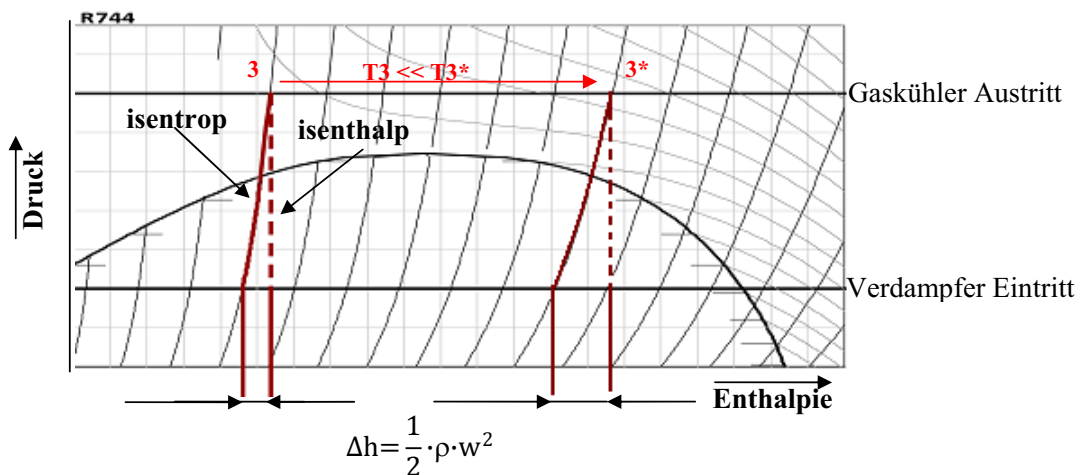


Abbildung 1.1: Vergleich isenthalpe und isentrope Drosselung bei hohen Umgebungstemperaturen (w = Geschwindigkeit; ρ =Dichte)

Abbildung 1.2 zeigt ein schematisches Diagramm eines CO₂-Kältekreislaufes mit Zwei-Phasen-Ejektor. Von 1 nach 2 wird gasförmiges Kohlendioxid verdichtet und erwärmt sich dabei. Das Kohlendioxid wird nach der Verdichtung mit Umgebungsluft im Gaskühler abgekühlt (bis zum Punkt 3). Der Ejektor ersetzt das in herkömmlichen Kältekreisläufen verwendete Expansionsventil.

Abbildung 1.3 zeigt einen solchen Ejektor schematisch im Querschnitt. Das aus dem Gaskühler kommende Kohlendioxid wird in der Treibdüse bis zum Punkt 4 entspannt und beschleunigt. Der Druck in Punkt 4 ist dabei niedriger als der Druck

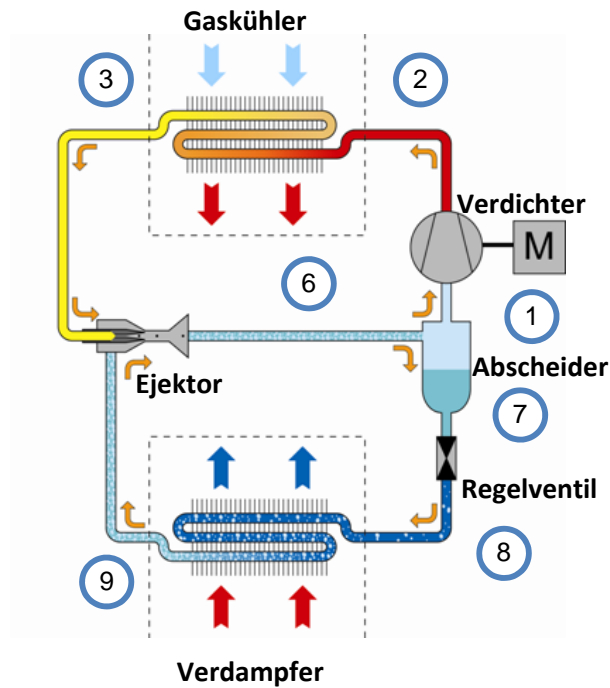


Abbildung 1.2: Schematische Darstellung eines CO₂-Kältekreislaufes mit Zwei-Phasen-Ejektor

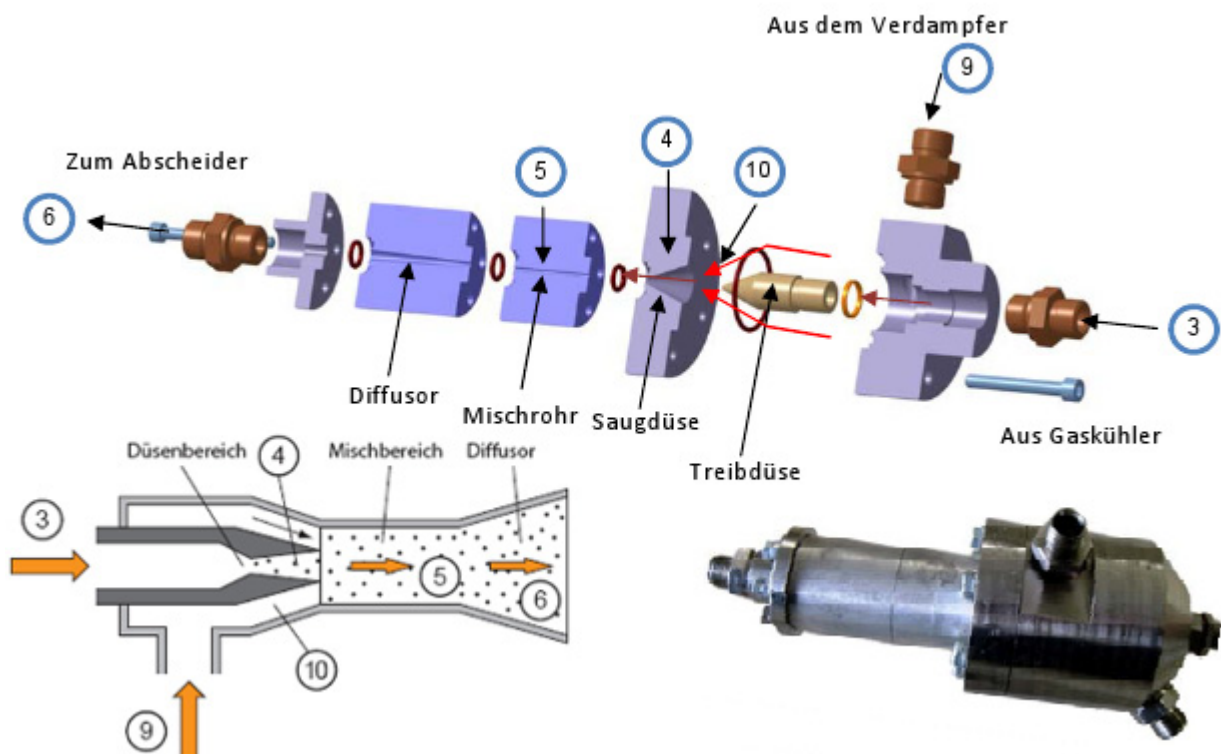


Abbildung 1.3: Schematischer Querschnitt durch einen Ejektor, der am IfT entwickelt wurde

am Ausgang des Verdampfers (Punkt 9) [87]. Getrieben von diesem Unterdruck wird durch die Saugdüse Kohlendioxid angesaugt (Punkt 10), das sich im Mischbereich mit

dem Primärstrahl mischt. Die Geschwindigkeit im Mischbereich (Punkt 5) kann im Überschallbereich liegen. Im Diffusor wird die Strömung verdichtet und dabei die Geschwindigkeit bis zum Punkt 6 reduziert. Der so erzielte Druckrückgewinn (Differenz zwischen Verdichteransaugdruck, Punkt 1 und Verdampferaustrittsdruck Punkt 9) verkleinert das Druckverhältnis, das der Verdichter zu überwinden hat und reduziert so die benötigte Verdichterantriebsleistung.

Das den Ejektor in Punkt 6 verlassende Kohlendioxid fließt in einen Abscheider bzw. Separator, der den in herkömmlichen Kältekreisläufen verwendeten Sammler ersetzt. Der Abscheider ist neben dem Ejektor selbst das kritischste Bauteil in einem Ejektor-Kältekreislauf. Der Wirkungsgrad des Abscheiders beeinflusst den Gesamtwirkungsgrad des Kreislaufes erheblich. Der Abscheider verfügt über zwei Auslässe: Von dem Auslass in Punkt 1 wird gasförmiges Kohlendioxid von dem Verdichter angesaugt. Vom Auslass in Punkt 7 wird flüssiges Kohlendioxid weiter gedrosselt und dem Verdampfer zugeführt. Im Vergleich zum herkömmlichen Kältekreislauf ist der Dampfgehalt am Verdampfereingang in einem Ejektor-Kältekreislauf niedriger. Dies bewirkt einen verbesserten Wärmeübergang und beeinflusst zusätzlich den Gesamtwirkungsgrad positiv. Abbildung 1.4 zeigt den CO_2 -Kältekreislauf mit Zwei-Phasen-Ejektor in einem $\log(p),h$ -Diagramm.

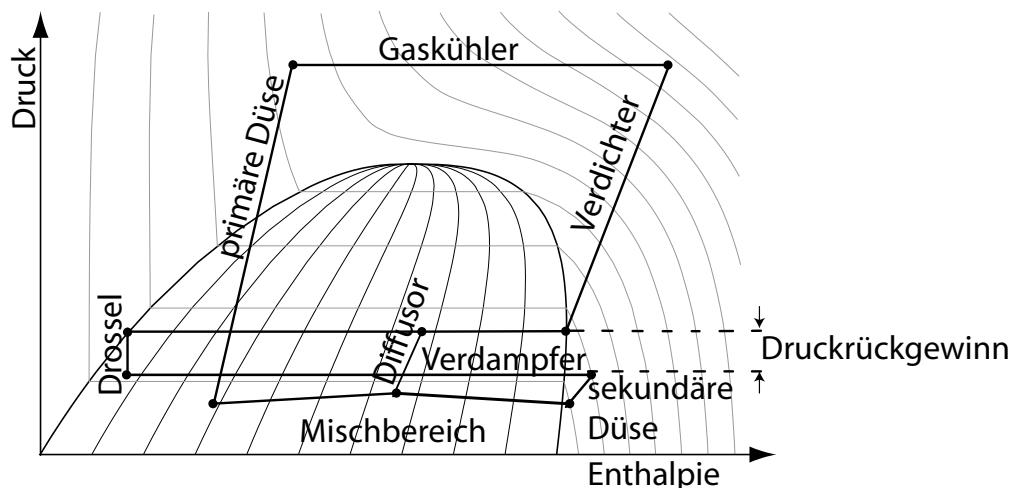


Abbildung 1.4: $\log(p),h$ -Diagramm eines CO_2 -Kältekreislaufes mit Zwei-Phasen-Ejektor

Der Einsatz eines Ejektors als Drosselorgan ist vielversprechend, da er im Vergleich zu anderen Expansionsorganen keine mechanisch beweglichen Teile besitzt, einfach aufgebaut ist und im Betrieb nur geringfügig verschleißt. Derzeit werden auf diesem Gebiet viele Untersuchungen durchgeführt, z.B. von Nakagawa [65], Groll [56], Elbel

[34] und Drescher [28]. Eine weitere umfassende Literaturdiskussion folgt in Kapitel 3.1. Beim Aufbau von Ejektor-Kältekreisläufen gibt es noch zwei Hauptschwierigkeiten, die überwunden werden müssen. Die erste Schwierigkeit ist, dass der Ejektor für einen Arbeitspunkt ausgelegt ist. Es gibt verschiedene Vorschläge zum Aufbau eines regelbaren Ejektors, der einen optimierten Betrieb für verschiedene Arbeitspunkte erlaubt. Es wird jedoch noch weitere Forschung erfordern, um dieses Ziel zu erreichen. Die zweite Schwierigkeit besteht darin, dass die zweiphasig Strömungsvorgänge sehr schwierig zu beschreiben sind und zum großen Teil noch nicht verstanden sind. Um einen Ejektor noch weiter verbessern zu können, ist es erforderlich diese grundlegenden Strömungsphänomene besser zu verstehen.

Für den Einsatz von Ejektoren in tropischen Gebieten und in der Gewerbekälte-technik gibt es bisher keine Untersuchungen. Insbesondere hier verspricht der Einsatz eines Ejektors bei Anwendungen mit hohen Differenzen zwischen Hochdruck und Niederdruck eine deutliche Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades. Ebenso eröffnet der Einsatz von Expansionsmaschinen in der aktuellen Anwendung der Supermarkt-CO₂-Kältetechnik große potenzielle Effizienzverbesserungsmöglichkeiten [78].

1.4 Ziel der Arbeit und Vorgehensweise

Ziel der Arbeit ist es, vielversprechende Einsatzmöglichkeiten für Ejektor-Kältekreisläufe insbesondere mit dem Kältemittel CO₂ in tropischen Gebieten zu identifizieren und theoretisch und experimentell zu untersuchen. Durch den Einsatz von Ejektoren ist eine deutliche COP-Verbesserung und damit ein geringerer Energieverbrauch für derartige Anlagen zu erwarten. Daneben kann die Emission umweltschädlicher FCKWs und HFKWs/FKWs reduziert werden. Um dieses Ziel zu erreichen werden in der vorliegenden Arbeit die folgenden Punkte bearbeitet:

- Identifizierung möglicher Einsatzgebiete von CO₂-Ejektor-Kreisläufe
- Bestimmung des Potentials der COP-Verbesserung bei CO₂-Ejektor Kältekreisläufe in tropischen Gebieten mit Hilfe eines einfachen Modells
- Umfangreiche Literaturübersicht zum Thema Ejektor-Kältekreisläufe
- Experimentelle Untersuchungen eines CO₂-Ejektor-Kältekreislaufes, insbesondere hinsichtlich der Ejektor-Gesamteffizienz.

- Entwicklung einer detaillierten Modellierung für Ejektor-Kältekreisläufen.
- Vergleich von Ejektor-Kältekreisläufen mit verschiedenen Kältemitteln, insbesondere CO₂.

1.5 Gliederung der Arbeit

Diese Arbeit ist in sechs Kapiteln gegliedert.

In Kapitel 2 werden die unterschiedlichen Einsatzgebiet (stationäre und mobile Anwendung) von Ejektor-Kältekreisläufen in tropischen Gebieten im Hinblick auf die dort vorherrschenden Randbedingungen und weiteren Aspekte identifiziert und untersucht.

Kapitel 3 umfasst die Charakterisierung von theoretischen Untersuchung von Zwei-Phasen-Ejektoren.

Kapitel 4 beschreibt den experimentellen Teil dieser Arbeit. Ein vorhandener Prüfstand für Untersuchungen unter tropische Randbedingungen wurde angepasst. Die Messergebnisse werden in dem Kapitel präsentiert. Anschließend wird eine Diskussion über den Einfluß der physikalischen Parameter für die Ejektoreffizienz durchgeführt.

Aufgrund des bedeutenden Einfluss' des Treibstroms auf die Ejektoreffizienz wird in Kapitel 5 die Strömung in der Treibdüse mit Hilfe von CFD-Simulationen untersucht. Zuletzt werden die Simulationsergebnisse mit Messdaten verglichen.

In Kapitel 6 wird den Vergleich zwischen Ejektor-Kältekreisläufen mit verschiedenen Kältemitteln, insbesondere CO₂ im Einsatz unter tropischen Randbedingungen präsentiert.