

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Vorwort des Herausgebers .....                                                      | I   |
| Vorwort des Autors .....                                                            | II  |
| Kurzfassung.....                                                                    | III |
| Abstract .....                                                                      | IV  |
| Inhaltsverzeichnis.....                                                             | V   |
| Nomenklatur.....                                                                    | VII |
| 1 Einleitung .....                                                                  | 1   |
| 2 Transkritische CO <sub>2</sub> -Klimatisierungsanlagen.....                       | 3   |
| 2.1 Thermophysikalische Eigenschaften von CO <sub>2</sub> .....                     | 3   |
| 2.2 Transkritische CO <sub>2</sub> -Systeme .....                                   | 6   |
| 2.3 Vergleich von transkritischen und konventionellen Kompressionszyklen .....      | 7   |
| 2.4 Forschung zum neuartigen transkritischen CO <sub>2</sub> -Kreislauf.....        | 8   |
| 2.4.1 BCTC mit internem Wärmeübertrager.....                                        | 8   |
| 2.4.2 Transkritischer Zyklus mit zweistufiger Kompression .....                     | 11  |
| 2.4.3 Transkritischer CO <sub>2</sub> -Kreislauf mit Expander .....                 | 12  |
| 3 Stand der Forschung.....                                                          | 15  |
| 4 Zielsetzung, Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit .....                           | 27  |
| 5 Methodik .....                                                                    | 29  |
| 5.1 Versuchsaufbau der CO <sub>2</sub> -Klimaanlage .....                           | 30  |
| 5.2 Simulation der CO <sub>2</sub> - und HFKW-Klimaanlagen .....                    | 34  |
| 5.3 Gebäudesimulation.....                                                          | 40  |
| 5.4 Umweltanalyse .....                                                             | 43  |
| 5.5 Ökonomische Analyse.....                                                        | 46  |
| 6 Experimentelle Ergebnisse und Validierung.....                                    | 51  |
| 6.1 Korrelationsanpassung für CO <sub>2</sub> -Verdichter und Wärmeübertrager ..... | 51  |
| 6.2 Energie- und Exergieanalyse der experimentellen Messreihen .....                | 54  |
| 6.2.1 Variation der Umrichterfrequenz .....                                         | 54  |
| 6.2.2 Variation der Umgebungstemperatur .....                                       | 56  |
| 6.2.3 Variation der Raumtemperatur.....                                             | 58  |
| 6.3 Validierung des Simulationsmodells.....                                         | 60  |
| 7 Energetische, ökonomische und ökologische Bewertung.....                          | 63  |
| 7.1 Jährliche Simulationen .....                                                    | 63  |
| 7.1.1 Systemebene.....                                                              | 63  |
| 7.1.2 Komponentenebene.....                                                         | 65  |
| 7.2 Analyse der Energieleistung.....                                                | 66  |
| 7.2.1 Jährliches Energieeffizienzverhältnis.....                                    | 66  |

---

|       |                                                                      |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.2.2 | Analyse des Primärstromverbrauchs .....                              | 68  |
| 7.3   | Ökologische Bewertung .....                                          | 69  |
| 7.3.1 | Direkte Treibhausgasemissionen.....                                  | 69  |
| 7.3.2 | Indirekte Treibhausgasemissionen .....                               | 70  |
| 7.3.3 | Gesamte Treibhausgasemissionen.....                                  | 71  |
| 7.4   | Wirtschaftliche Leistungsanalyse.....                                | 72  |
| 7.4.1 | Analyse der Anfangskapitalkosten.....                                | 72  |
| 7.4.2 | Jährliche Betriebskosten.....                                        | 73  |
| 7.4.3 | Lebenszykluskostenanalyse .....                                      | 74  |
| 7.4.4 | Anteil der Anfangskapitalkosten an den Lebenszykluskosten.....       | 75  |
| 7.4.5 | Kosten der Schadstoffemissionen .....                                | 77  |
| 7.5   | Sensitivitätsanalyse .....                                           | 77  |
| 7.5.1 | Analyse der Ökobilanzmethode .....                                   | 77  |
| 7.5.2 | Parametrische Analyse der jährlichen Leckagerate.....                | 78  |
| 7.5.3 | Sensitivitätsanalyse des Strom- und Verdichterpreises.....           | 80  |
| 8     | Zusammenfassung .....                                                | 83  |
| 9     | Summary .....                                                        | 91  |
|       | Literaturverzeichnis.....                                            | 97  |
|       | Vorveröffentlichungen .....                                          | 123 |
|       | Anhang A: RI-Schema des Prüfstands .....                             | 125 |
|       | Anhang B: Messergebnisse der Variation der Umrichterfrequenz .....   | 126 |
|       | Anhang C: Messergebnisse der Variation der Umgebungstemperatur ..... | 128 |
|       | Anhang D: Messergebnisse der Variation der Raumtemperatur.....       | 130 |