

KOMPRESSIONS-ABSORPTIONS-

WÄRMEPUMPEN

INHALT

Seite

I. EINLEITUNG	9
I.1 Motivation für diese Arbeit	9
I.2 Geschichtlicher Überblick und Stand der Technik	14
I.3 Gliederung der Arbeit	19

II. EINFACHE BERECHNUNGSMETHODE FÜR KOMPRESSIONS-ABSORPTIONS-WÄRMEPUMPEN

21

II.1 ELEMENTARE KREISLÄUFE DER ENERGIEUMWANDLUNG	22
II.1.1 Grundlagen	23
II.1.2 Die Kompressions-Wärmepumpe	24
II.1.2.1 Funktionsprinzip	24
II.1.2.2 Arbeitsmittel	26
II.1.2.3 Modell des Prozesses	27
II.1.3 Die Absorptions-Wärmepumpe	28
II.1.3.1 Funktionsprinzip	28
II.1.3.2 Arbeitsmittel	31
II.1.3.3 Modell des Prozesses	32
II.1.4 Der Absorptions-Wärmetransformator	33
II.1.4.1 Funktionsprinzip	33
II.1.4.2 Arbeitsmittel	34
II.1.4.3 Modell des Prozesses	35
II.1.5 Elementare Kreisläufe mit vier Temperaturniveaus	36
II.2 ABSCHÄTZUNG DER LEISTUNGSZAHLEN UND WÄRME- VERHÄLTNISSE VON MEHRSTUFIGEN WÄRMEPUMPEN	37
II.2.1 Die Superpositionsmethode	38
II.2.1.1 Grundlagen und Regeln	39
II.2.1.2 Definition der Betriebsbereiche	44
II.2.1.3 Berechnung der ausgetauschten Energiemengen	46
II.2.2 Aufstellen von Kennfeldern	48
II.2.2.1 Wärmepumpe mit Antrieb durch Wärme und Arbeit (Betriebsbereich 1)	49
II.2.2.2 Kompressions-Wärmepumpe mit zwei Wärmesenken (Betriebs- bereich 2) oder zwei Wärmequellen (Betriebsbereich 3)	53
II.2.2.3 Kompressions-Wärmepumpe mit zusätzlicher Wärmesenke auf tiefer Temperatur (Betriebsbereich 4)	57
II.2.3 Verfeinerung der Berechnungsmethode	60
II.2.3.1 Berücksichtigung der Pumpenarbeit	60
II.2.3.2 Veränderung der Leistungszahl	62

III. EXPERIMENTE MIT EINER KOMPRESSIONS-KÄLTEANLAGE MIT ABSORPTIONSKREISLAUF ZUR VERBESSERUNG DER LEISTUNGSZAHL	65
III.1 BESCHREIBUNG DER ANLAGE	68
III.1.1 Arbeitsstoffe und Werkstoffe	68
III.1.2 Aufbau des Kreislaufes	70
III.1.3 Funktionsweise der Anlage	72
III.1.3.1 Kompressionskreis	72
III.1.3.2 Absorptionskreis	74
III.1.3.3 Verbesserung der Leistungszahl	75
III.1.3.4 Wärmequelle und Wärmesenke	78
III.1.4 Meßtechnik und Auswertung	78
III.2 EXPERIMENTELLE ERGEBNISSE	82
III.2.1 Meßreihe I: Integrierter Generator ohne Nutzung der Zylinderkopfwärme	83
III.2.2 Meßreihe II: Integrierter Generator mit Nutzung der Zylinderkopfwärme	84
III.2.3 Meßreihe III: Parallelgeschalteter Generator mit Nutzung der Zylinderkopfwärme	86
III.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE	88
III.3.1 Vergleich der drei Meßreihen	88
III.3.2 Analyse des Generators	90
III.3.3 Betriebserfahrungen und Verbesserungsvorschläge	98

IV. EXPERIMENTE MIT EINER KOMPRESSIONS- ABSORPTIONS-KÄLTEANLAGE MIT GROSSEM TEMPERATURHUB	101
IV.1 BESCHREIBUNG DER ANLAGE	103
IV.1.1 Arbeitsstoffe und Werkstoffe	103
IV.1.2 Aufbau des Kreislaufes	105
IV.1.3 Funktionsweise der Anlage	109
IV.1.3.1 Kältemittelkreislauf	109
IV.1.3.2 Lösungskreislauf	110
IV.1.3.3 Wärmequelle und Wärmesenken	111
IV.1.4 Meßtechnik und Auswertung	112
IV.2 EXPERIMENTELLE ERGEBNISSE	116
IV.2.1 Meßreihe I: Betrieb mit zwei Wärmesenken mit veränderbarer Heizleistung	116
IV.2.2 Meßreihe II: Betrieb mit vollem Temperaturhub	120
IV.2.3 Meßreihe III: Heißwasserbereitung	122
IV.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE	125
IV.3.1 Modell für Laständerungen	125
IV.3.2 Kennfeld der Anlage	127
IV.3.3 Einsparung von Primärenergie	129
IV.3.4 Betriebserfahrungen und Verbesserungsvorschläge	132

V. AUSBLICK	135
VI. ZUSAMMENFASSUNG	143
ANHANG	147
A. I. LITERATURVERZEICHNIS	147
A. I.1 Literatur zu Kompressions-Absorptions-Wärmepumpen	147
A. I.2 Literatur zu Wärmepumpen allgemein	151
A. I.3 Literatur zu Stoffdaten	154
A. I.4 Sonstige Literatur	156
A. II. ANHANG ZU KAPITEL II	157
A. II.1 Temperatur als Maß für die Wertigkeit von Arbeit	157
A. II.2 Die Entropiemethode	157
A. II.3 Entropieanalyse mehrstufiger Systeme	158
A. II.4 Entropieerzeugung beim Eintritt eines kalten Stoffstromes in ein wärmeres Reservoir mit fester Temperatur	161

A. III. ANHANG ZU KAPITEL III	163
A. III.1 Schaltbilder	163
A. III.1.1 Kompressions-Absorptions-Kreis	163
A. III.1.2 Wärmequelle	167
A. III.1.3 Wärmesenke	168
A. III.2 Technische Daten	169
A. III.2.1 Technische Daten der Komponenten	169
A. III.2.2 Technische Daten der Meßtechnik	171
A. III.3 Auswertung der Meassungen	173
A. III.3.1 Fehlerabschätzung	173
A. III.3.2 Tabellen der Meßwerte und Auswertung	175
A. III.4 Abschätzung der Leistungszahl mit der Superpositions methode	176
A. III.5 Analyse des Generators	180
A. III.5.1 Stoffliche Trennung zwischen Kompressions- und Absorptionskreis	180
A. III.5.2 Stoffliche Integration zwischen Kompressions- und Absorptionskreis	182
A. III.5.3 Zerlegung der Entropieerhöhung ΔS	182

A. IV. ANHANG ZU KAPITEL IV	185
A. IV.1 Schaltbilder	185
A. IV.1.1 Kompressions-Absorptions-Kreis	185
A. IV.1.2 Wärmequelle	189
A. IV.1.3 Wärmesenken	190
A. IV.2 Technische Daten	191
A. IV.2.1 Technische Daten der Komponenten	191
A. IV.2.2 Technische Daten der Meßtechnik	193
A. IV.3 Auswertung der Ergebnisse	194
A. IV.3.1 Berechnung der mechanischen Leistung	194
A. IV.3.2 Korrektur der Isolationsverluste	195
A. IV.3.3 Tabellen der Meßwerte	199
A. IV.3.4 Tabellen der korrigierten Meßwerte	201
A. V. VERWENDETE FORMELZEICHEN	205