

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	I
Kurzfassung.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
Nomenklatur .....	VII
1 Einführung.....	1
1.1 Problemstellung.....	3
1.2 Ziele der Arbeit.....	4
1.3 Aufbau der Arbeit .....	4
2 Grundlagen der Kaltdampfmaschine .....	7
2.1 Funktions- und Arbeitsweise der Kältemaschine .....	7
2.2 Die Kältemittelkompressoren .....	11
2.2.1 Scrollkompressoren.....	14
2.2.2 Rollkolbenkompressoren .....	20
2.3 Schmierstoffe in hermetischen Kältemittelkompressoren .....	25
2.3.1 Das Tribô-System von Scroll- und Rollkolbenkompressoren.....	25
2.3.2 Kältemaschinenöle .....	29
3 Das Langzeitverhalten von Kältemaschinen und ihren Arbeitsstoffen.....	33
3.1 Beanspruchungen einer Kältemaschine.....	35
3.2 Das chemische Stoffverhalten im Inneren.....	41
3.2.1 Korrosionsvorgänge .....	42
3.2.2 Alterung von Kältemaschinenölen.....	44
3.2.3 Thermische Beanspruchungen.....	45
3.2.4 Chemische Reaktionen verursacht durch Verunreinigungen.....	46
3.3 Schädigungen an Kaltdampfmaschinen und ihren Kältemittelkompressoren .....	50
3.3.1 Schädigungen an Kältemittelkompressoren.....	51
3.3.2 Systemanalyse von hermetischen Kältemittelkompressoren .....	54

3.3.3	Ausfallarten von Kältemittelkompressoren.....	56
3.3.4	Ursachen für Schäden an Kältemittelkompressoren.....	58
4	Ermittlung zuverlässigkeitstechnischer Kennwerte .....	75
4.1	Definitionen und Begriffe.....	75
4.2	Das Ausfallverhalten technischer Systeme .....	76
4.3	Ermittlung von Zuverlässigkeitsskennwerten .....	78
4.3.1	Grundgesamtheit und Stichprobenumfang.....	78
4.3.2	Zensierungsarten von Ausfalldaten.....	78
4.3.3	Bestimmung einer Lebensdauerverteilung.....	80
4.4	Allgemeine Methoden zur Verkürzung der Versuchszeit .....	83
4.4.1	Erhöhte Beanspruchungen .....	83
4.4.2	Steigerung der Nutzungsrate .....	84
4.4.3	Degradation .....	84
4.5	Etablierte Testmethoden für Kältemittelkompressoren.....	85
4.5.1	Drucküberhöhung.....	87
4.5.2	Tests mit hohem Druckverhältnis (Verschleißtests) .....	88
4.5.3	Tests mit hoher Heißgastemperatur (Hochtemperaturprüfung) .....	89
4.5.4	Flüssigkeitsschläge .....	91
4.5.5	Flüssigkeitsstarts .....	91
4.5.6	Schlechtölversuche .....	91
4.5.7	Mangelschmierungs-Tests.....	93
4.5.8	Dauerlauf-Tests.....	93
4.5.9	Start-Stopp-Zyklen (Dauerschaltprüfung) .....	94
4.5.10	Degradations-Tests .....	95
5	Diagnosemerkmale von Kältemittelkompressoren .....	99
5.1	Diagnoseparameter von Kältemittelkompressoren.....	101
5.1.1	Analyse thermischer Zustandsgrößen .....	102
5.1.2	Leistungsparameteranalyse .....	103
5.1.3	Massenstromanalyse .....	105

5.1.4	Schallemissionsanalyse .....	106
5.1.5	Gebrauchtölanalyse.....	108
5.2	Diagnosekennzahlen von Kältemittelkompressoren.....	109
6	Prüfstands-Entwicklung zur Untersuchung des Degradationsverhaltens .....	115
6.1	Der Kühlwasserkreislauf.....	116
6.2	Der Kältdampf-Prüfstand .....	117
6.3	Der Hybrid-Prüfstand .....	120
6.4	Messeinrichtung zur Ermittlung der Schallemission (SE).....	124
6.5	Zugrundeliegende Messunsicherheiten .....	128
7	Experimentelle Untersuchungen .....	131
7.1	Potenzziale der Schallemissionsanalyse .....	131
7.1.1	Einfluss der Flächenpressung des Messadapters .....	132
7.1.2	Einfluss des Kopplungsmittels .....	134
7.1.3	Einfluss der Temperatur .....	135
7.1.4	Überlagerung verschiedener Schallemissionsquellen.....	136
7.2	Evaluierung der Diagnosekennzahlen .....	143
7.3	Experimente zur Untersuchung der Degradation.....	150
7.3.1	Start-Stopp-Tests .....	151
7.3.2	Mangelschmierungstest .....	154
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	165
8.1	Zusammenfassung.....	165
8.2	Fazit .....	168
8.3	Ausblick .....	169
9	Literaturverzeichnis.....	171
10	Anhang .....	183
10.1	Eigenschaften von Kältemaschinenölen.....	184
10.2	Systemanalyse eines hermetischen Scrollkompressors.....	189
10.3	Die Bildung von Diagnosekennzahlen mithilfe der Dimensionsanalyse .....	190
10.4	Die multiple Regressionsanalyse .....	193

10.5	Ergebnisse der Regressionsanalysen .....	198
10.6	Höhendiagramme .....	201
10.7	Fehlerfortpflanzung .....	202
10.7.1	Diagnosekennzahl .....	202
10.7.2	Funktionserfüllungsgrad .....	202
10.7.3	Kälteleistungszahl .....	202
10.7.4	Kälteleistung .....	202