

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	XV
1 Energetische Kenndaten und bauliche Integration	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Energetische Kenndaten	1
1.2.1 Leistungskennndaten von Kollektoren	3
1.3 Bauliche Integration	4
1.3.1 Kollektorfeld	4
1.3.2 Verbindungsleitungen zwischen Kollektorfeld und Speicher	14
1.4 Mess- und Regelgrößen	26
1.4.1 Temperaturen	26
1.4.2 Durchfluss	28
1.4.3 Druck	29
1.5 Literatur	30
2 Dimensionierung des Rohrnetzes	31
2.1 Einleitung	31
2.2 Eindimensionale Beschreibung stationärer Rohrströmungen	31
2.2.1 Stromfadentheorie	31
2.3 Modellierung von Druckverlusten	36
2.3.1 Reibungsdruckverlust in Rohren	36
2.3.2 Lokale Druckverluste	45
2.4 Druckverlust und Strömungsverteilung in Kollektorfeldern	54
2.4.1 Aufbau von Absorbern	54
2.4.2 Schaltungsvarianten	58
2.4.3 Strömungsverteilung und Druckverlust	61
2.4.4 Druckverlust aus Messdaten	70
2.4.5 Einfluss der Verschaltung auf Durchfluss, Temperaturen und Leistung	76
2.5 Modellierung von Kreispumpen	81
2.5.1 Pumpenkennlinie	81
2.5.2 Erforderlicher Zulaufdruck zur Vermeidung von Kavitation	83
2.6 Druckverlauf im Kollektorkreis	87
2.7 Literatur	93
3 Druckhaltung und Sicherheit	97
3.1 Einleitung	97
3.2 Aufgaben, Aufbau und Funktionsweise der Druckhaltung	97
3.2.1 Aufgaben der Druckhaltung	97
3.2.2 Arten der Druckhaltung	98
3.3 Sicherheit	103
3.3.1 Sicherheitsventile	104
3.3.2 Druckmessung	104
3.4 Einbindung der Druckhaltung in den Kreislauf	110
3.4.1 Anschluss des Ausdehnungsgefäßes an den Kreislauf	111

3.4.2	Referenzpunkt bezüglich Rückschlagventil und Pumpe	112
3.4.3	Anordnung und Dimensionierung des Sicherheitsventils	116
3.5	Systemwahl und Vorgehen bei der Dimensionierung	117
3.5.1	Anlagendaten für die Dimensionierung	117
3.5.2	Vorgehen bei der Dimensionierung	118
3.6	Dimensionierung von Membran-Druckausdehnungsgefäßen	119
3.6.1	Grundlagen	119
3.6.2	Dimensionierung nach VDI 4708	123
3.6.3	Dimensionierung mit Berücksichtigung der Unsicherheiten	129
3.7	Wartung von Membranausdehnungsgefäßen	144
3.7.1	Direkte Prüfung	144
3.7.2	Indirekte Prüfung durch Überströmversuch	145
3.8	Literatur	149
4	Entlüftung und Entgasung	151
4.1	Einleitung	151
4.1.1	Notwendigkeit für die Entfernung von Gasen	151
4.1.2	Ursache von freien Gasen	152
4.1.3	Solaranlagen im Vergleich zu anderen Rohrnetzen	153
4.2	Entlüftungsventile und Luftabscheider	154
4.2.1	Manuell betätigte Entlüftungsventile an Hochpunkten	154
4.2.2	Luftabscheider mit automatischem Entlüftungsventil	156
4.3	Selbstentlüftung von Rohren	157
4.3.1	Kräfte an Lufttaschen und Luftblasen	157
4.3.2	Stand der Technik	158
4.3.3	Neue Experimente mit Glattrohren und Ringwellschläuchen	160
4.3.4	Füllen des Kreislaufes	168
4.4	Entgasung	176
4.4.1	Entgasung durch Sprührohr-Vakuumentgasung	177
4.4.2	Solarthermische Entgasung	178
4.4.3	Gaslösung in Mehrkomponentengemischen	179
4.5	Literatur	186
5	Stagnation	189
5.1	Einleitung	189
5.1.1	Ursachen und Bedeutung der Stagnation	189
5.1.2	Aufgaben beim Nachweis der Stagnationssicherheit	192
5.2	Praktische Regeln für ein günstiges Stagnationsverhalten	192
5.2.1	Entleerbarkeit und Leerdruckbarkeit des Kollektorfeldes	192
5.2.2	Maßnahmen zur Begrenzung der Dampfreichweite	197
5.2.3	Ablauf, Phänomene und Kenngrößen der Stagnation	198
5.2.4	Phasen der Stagnation	198
5.3	Die Methode der thermohydraulischen Simulation	204
5.3.1	Charakterisierung von Zweiphasenströmungen	204
5.3.2	Darstellung durch eindimensionale Erhaltungsgleichungen	208
5.3.3	Simulation des Stagnationsverhaltens mit TRACE	211
5.3.4	Erkenntnisse aus der Simulation mit TRACE	220

5.4	Analytische Beschreibung der Stagnation.....	223
5.4.1	Drift Flux Modelle für den Gasvolumenanteil	223
5.4.2	Das Kriterium der Gegenstrombegrenzung.....	226
5.4.3	Dampfleistung von Kollektoren	232
5.4.4	Restmenge Flüssigkeit in einem Mäanderabsorber	237
5.4.5	Zeitspanne für die Aufheiz- und Verdrängungsphase	241
5.4.6	Modellierung der Rohrleitungen	243
5.4.7	Modellierung von Rippenrohrkühlern	246
5.4.8	Dampfreichweite und Dampfvolumen	247
5.4.9	Simulation des Stagnationsverhaltens mit dem analytischen Modell.....	254
5.5	Literatur.....	259
6	Anhang.....	261
6.1	Das Reynoldssche Transporttheorem	261
6.1.1	Erhaltung der Masse.....	261
6.1.2	Erhaltung des Impulses.....	262
6.1.3	Anwendung des Reynoldsschen Transporttheorems in Integralform.....	264
6.2	Stoffdaten	267
6.2.1	Dichte.....	268
6.2.2	Kinematische Viskosität.....	269
6.2.3	Spezifische Wärme	270
6.2.4	Spezifische Enthalpie und Verdampfungsenthalpie	271
6.2.5	Dampfdruck	272
6.2.6	Oberflächenspannung	273
6.3	Literatur.....	275
6.4	Symbolverzeichnis.....	276
6.5	Sachverzeichnis	282