
Bernd Thier

**ENERGIESPARENDE
HEIZ- UND
KÜHLKREISLÄUFE**

VULKAN-VERLAG ESSEN

INHALT

Vorwort

1.	Einführung – Übersicht	1
1	Vergleichende Betrachtung von Heiz- und Kühlverfahren.....	1
1.2	Vorteile des Heiz- und Kühlsystems mit Monofluiden bei Druckwassersystemen	1
1.3	Energetische Konzeption für Heiz- und Kühlkreisläufe	3
1.3.1	Ausbildung von Energieschienen.....	3
1.3.2	Zyklische Schaltung der Ventile	4
1.3.3	Regelung des Verfahrensablaufes.....	4
1.3.4	Verbundschaltung zur Integration der Prozesswärme	4
1.4	Anforderung an Prozessführung	5
1.5	Anwendungen – Übersicht.....	5
2.	Kriterien der Prozesstechnik	7
2.1	Anforderungen an Energiesysteme zur thermischen Prozessführung.....	7
2.2	Chemische Reaktoren.....	7
2.2.1	Wärmebilanz	7
2.2.2	Auswahlkriterien für einen Reaktortyp.....	9
2.2.3	Ausführungs- und Anwendungsbeispiele	11
2.3	Chargenbetrieb	12
2.3.1	Diskontinuierlicher Rührkessel.....	12
2.3.2.	Temperaturverlauf und Energiebilanz	13
2.3.3	Wärmetechnische Auslegung	15
2.3.4	Sicherheitskriterien der Prozessführung von Batch-Reaktoren.....	16
2.3.4.1	Heiz- und Kühlkreislauf (Druckwasser)	16
2.3.4.2	Schutzmaßnahmen bei Druckbehältern.....	17
2.3.4.3	Sicherheitsschaltungen am Beispiel eines Polymerisationsreaktors.....	20
2.3.4.4	Verfahrenstechnische Maßnahmen zur Vermeidung von Reaktorexlosionen	23
2.3.5	Optimierung bei der Prozessführung von Batch-Reaktoren	26
3.	Heiz- und Kühlverfahren.....	33
3.1	Temperiersysteme mit Wasser	33
3.1.1	Einzelanlagen	33
3.2	Temperiersysteme mit Wasser-Glykol	39
3.2.1	Einzelanlagen	39
3.3	Heiz- und Kühlanlagen (Zentrale Anlagen)	40
3.3.1	Zwei Energiesysteme.....	40
3.3.2	Zwei Energiesysteme mit integrierter Kälteanlage	43
3.3.3	Heiz- und Kühlsysteme (drei Energiesysteme)	43
3.3.3.1	Primärkreisläufe	43
3.3.3.2	Sekundärkreisläufe	46

3.3.4	Zyklische Steuerung der Ausgangs-Stellventile am Sekundärkreislauf	46
3.4	Einbindung von Kälte/Sole-Systemen in Kühlkreisläufe für Chargenprozesse.....	47
3.4.1	Aufgabenstellung	47
3.4.2	Anforderungen an das Kältesystem	48
3.4.3	Schaltungen: Kälte-Sole-Systeme	49
3.4.3.1	Temperiersystem Sulzer	49
3.4.3.2	Kühlsystem mit integriertem NH ₃ -Verdampfer	50
3.4.3.3	Einbindung der Soleanlage in Kaltflüssigkeitssysteme	51
3.5	Aufbau eines Hochtemperaturkreislaufes	52
3.5.1	Elektroerhitzer	52
3.5.2	Sicherheitsschaltung	54
3.5.3	Sicherheitsbestimmungen.....	55
3.5.3.1	Explosionsschutz	56
3.5.4	Betriebstechnik	56
4.	Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)	59
4.1	Verfahren	59
4.2	Zyklische Steuerung des Sekundärkreislaufes	59
4.3	Regelverhalten.....	60
4.4	Stellventile.....	61
4.4.1	Kennlinien	62
4.5	Dreiwege-Stellventile mit Misch- und Teilungsfunktion für die Bypass-Regelung.....	65
4.6	Möglichkeiten der Steuerung von Ausgangs-Stellventilen am Sekundärkreislauf	67
4.6.1	Taktverschiebung.....	67
4.6.2	Temperatursteuerung im Ausgang des Kaltstranges	68
4.6.3	Zyklische Temperatursteuerung mit Mengenausgleich am Beispiel eines Vakuum-Trockners.....	68
4.7	Temperatursteuerung des Batch-Prozesses.....	71
4.8	Prozessautomatisierung.....	72
4.8.1	Standard-Funktionselemente bei Prozessleitsystemen (TELEPERM).....	72
5	Wärmeträgermedien	75
5.1	Übersicht.....	75
5.1.1	Einleitung	75
5.1.2	Anforderungen an Wärmeträgerflüssigkeiten.....	76
5.1.3	Beschreibung der Wärmeträgerflüssigkeiten	76
5.2	Wärmeträgersysteme auf Glykol-Basis	81
5.2.1	Enspannungsvorgänge (z.B. Undichtigkeiten) bei Glykol-Wassergemischen unter Druck und Temperatur.....	81
5.2.2	Wichtige physikalische Eigenschaften von Ethylenglykol-Wassergemischen	82
5.2.3	Druck-Temperatur-Auslegung für Glykol-Wärmeträger (Berechnungsbeispiel)	83

5.3	Diphyl.....	89
5.3.1	Auswahl und Anforderungen an organische Wärmeträger.....	89
5.3.2	Spezifikation, Kennzahlen und Stoffwerte von Diphyl.....	89
5.4	Marlotherm.....	89
5.4.1	Eigenschaften und Einsatzgebiete.....	89
5.5	Syltherm.....	93
5.5.1	Einsatzkriterien.....	93
5.5.2	Physikalisch-technische Daten von Syltherm.....	94
6.	Wärmeübertragungsanlagen.....	99
6.1	Heiz- und Kühlsysteme.....	99
6.1.1.	Heiz- und Kühlsysteme (Zentrale Anlagen).....	102
6.1.1.1	Sekundärkreisläufe.....	104
6.2	Fließbild einer Wärmeträgeranlage nach DIN 2481.....	106
6.3	Wärmeträgeranlagen mit Diphyl.....	108
6.3.1	Anwendung in der Flüssigphase.....	111
6.3.2	Anwendung in der Dampfphase.....	111
6.4	Wärmeträgeranlagen mit Marlotherm.....	111
6.4.1	Prinzipielle Kreislaufschaltung.....	111
6.4.2	Sauerstoffausschluß.....	
7.	Sicherheitstechnik.....	121
7.1	Sicherheitskonzept des Heiz- und Kühlsystems.....	121
7.1.1	Störfallmöglichkeiten.....	121
7.1.2	Notkühlung.....	122
7.1.3	Entspannungssystem.....	122
7.2	Rohrleitungssysteme (s. auch Kap. 8).....	124
7.2.1	Besondere Gefährdung: Undichtigkeiten des Rohrleitungssystems.....	124
7.2.2	Konkrete Sicherheitsmaßnahmen für Hochtemperatur-Schienen....	126
7.3	Zusammenstellung von Sicherheitskriterien.....	126
7.3.1	Einflußgrößen für mögliche Beanspruchungen des Rohrleitungssystems und Maßnahmen zur Vermeidung.....	126
7.3.2	Allgemeine Betriebs- und sicherheitstechnische Kriterien (Checkliste).....	126
7.4	Sicherheitsventile.....	128
7.4.1	Auslegung der Sicherheitsventile.....	128
7.4.2	Montage von Sicherheitsventilen.....	129
7.4	Sicherheits- und umwelttechnische Maßnahmen bei Kühlwassersystemen in der Anlagentechnik.....	129
7.5.1	Einführung.....	129
7.5.2	Verfahren und Systeme der Wasserkühlung bei Anlagen.....	130
7.5.3	Geltende Verordnungen, Richtlinien, Regelwerke.....	130
7.5.4	Gefährdungspotentiale von Kühlwassersystemen.....	130
7.5.5	Anforderungen an das Kühlwassersystem.....	130
7.5	Sicherheitstechnische Anforderungen für Wasserheizungs- anlagen nach DIN 4751.....	131
7.6.1	Sicherheitsvorkehrungen für Heißwasseranlagen.....	131
7.7	Sicherheitsbestimmungen für Wärmeträgeranlagen.....	134

8.	Rohrleitungstechnik	135
8.1	Gesetze, Vorschriften, Regelwerke	135
8.1.1	Umweltschutz	135
8.1.2	Arbeitssicherheit	135
8.1.3	Druckbehälterverordnung – Überwachung von Rohrleitungen)	136
8.1.3.1	Vorschriften für Rohrleitungen	136
8.1.3.2	Prüfung der Rohrleitungen	137
8.1.3.3	Prüffristen	140
8.1.3.4	Übergangsregelung für bestehende Rohrleitungen	140
8.1.3.5	FAD-Hinweise für die Beurteilung bestehender Rohrleitungen nach § 39a der Druckbehälterverordnung	140
8.1.4	Weitere Gesetzliche Vorschriften	142
8.1.4.1	DVGW-Regelwerk	142
8.2	Anlagentechnische Sicherheitskriterien für Rohrleitssysteme	143
8.2.1	Rohrleitungen und Armaturen in Systemen der Anlagen- sicherung	145
8.2.2	Sicherheitstechnische Anforderungen für besonders gefährdete Rohrleitungen	147
8.2.3	Sicherheitstechnische Bewertung	149
8.3	Beanspruchungen von Rohrleitungssystemen und Maß- nahmen zur Verminderung oder Vermeidung	150
8.3.1	Instationäre Strömungsvorgänge in Rohrleitungen	150
8.3.1.1	Druckstöße	150
8.3.1.2	Kavitation	154
8.3.1.3	Schwingungen	156
8.3.1.4	Entspannungsvorgänge	163
8.3.1.5	Geräuscheinwirkung	164
8.3.2	Thermische Beanspruchung	172
8.3.2.1	Wärmedehnung	172
8.3.2.2	Thermoschock	179
8.3.2.3	Zeitstandbeanspruchung	180
8.3.3	Mechanische Beanspruchungen	181
8.3.3.1	Überdruck – Unterdruck	181
8.3.3.2	Mechanische Überbeanspruchung – Kräfte und Momente in Rohrleitungssystemen	184
8.3.3.3	Mechanische Schäden	186
8.3.4	Undichtigkeiten	187
8.3.5	Korrosion – Erosion – Werkstoffe	190
8.3.5.1	Korrosionsschutzmaßnahmen	197
8.3.6	Reaktions- und Produktionseinfluß	200
8.3.7	Fertigung – Verlegetechnik	202
8.3.8	Betrieb – Instandhaltung	204
8.4	Rohrverbindungen – Dichtsysteme – Leckagen	205
8.4.1	Einführung – Übersicht	205
8.4.2	Das Zusammenwirken von Flansch und Dichtung	206
8.4.3	Flanschverbindungen	210
8.4.3.1	Hochdruckrohrleitungen	212
8.4.3.2	Flanschdichtungen für hohe und tiefe Temperaturen	213

8.4.3.3	Klemmverbindungen	215
8.4.3.4	Verschraubungen.....	216
8.4.3.5	Rohrkupplungen.....	218
8.4.4	Leckagen	221
8.4.4.1	Flanschverbindungen als Leckstellen	221
8.4.5	Leckortungs-Systeme	227
8.4.5.1	Malos	227
8.4.5.2	Lea Com. System	228
8.4.5.3	LEOS	230
8.5	Rohrleitungen in der Prozesstechnik	231
8.5.1	Sicherheitstechnische Kriterien für Rohrleitungen in Chemieanlagen.....	232
8.5.1.1	Grundlagen und Anforderungen.....	232
8.5.1.2	Wasserhaushaltsgesetz (WHG).....	233
8.5.1.3	Druckbehälterverordnung.....	234
8.5.1.4	Prozess- und betriebsbedingte Beanspruchungen des Rohrleitungssystems.....	235
8.5.2	Klassifizierung von Rohrleitungen.....	237
8.5.2.1	Einführung – Problemstellung.....	237
8.5.2.2	Aufbau und Ziele der Klassifizierung von Rohrleitungen.....	238
8.5.2.3	Klassifizierung und Spezifizierung von Rohrleitungen	240
8.5.2.4	Dokumentation von Rohrleitungen.....	242
8.5.2.5	Problematik beim Aufbau einheitlicher Rohrklassen	244
8.5.3	Planung von Rohrleitungen mit EDV.....	245
8.5.3.1	Einordnung der Rohrleitungsplanung.....	245
8.5.3.2	R & I-Fließbild	246
8.5.3.3	Arbeitsabläufe der Rohrleitungsplanung	247
8.5.3.4	Rohrleitungsspezifische Informationsinhalte	250
8.5.3.5	Integration des EDV-Systems	251
8.5.4	Fertigung und Montage	254
8.5.4.1	Vorfertigung	254
8.5.4.2	Montage	257
8.5.5	Instandhaltung	258
8.5.5.1	Aufgaben der Instandhaltung	258
8.5.5.2	Einflußfaktoren	258
8.5.5.3	Instandhaltungsgerechte Planung von Rohrleitungssystemen.....	259
8.5.5.4	Instandhaltungsanalyse	263
8.5.6	Prüftechnik	265
8.5.7	Dokumentation	265
9.	Armaturen in Prozess-Systemen.....	267
9.1	Dichtsysteme bei Armaturen mit erhöhten Sicherheits- anforderungen.....	267
9.1.1	Einführung – Problemstellung.....	267
9.1.2	Ursachen für Schadensfälle bei Armaturen.....	267
9.1.3	Sicherheits- und Betriebstechnische Einflußgrößen bei Undichtigkeiten	268
9.1.4	Dichtsysteme	268

9.1.4.1	Spindelabdichtungen.....	269
9.1.4.2	Schaltwellen-Dichtsysteme	271
9.1.4.3	Packungswerkstoffe	273
9.1.4.4	Faltenbalgabdichtung.....	273
9.1.4.5	Faltenbalgventile in Konzept der Sicherheitseinrichtung.....	274
9.1.4.6	Kugelhahn mit Faltenbalg	276
9.1.4.7	Absperrarmatur mit Leckageüberwachung	285
9.2.3	Stellhähne	287
9.2.4	Gleitschieber-Ventil.....	288
9.2.5	Ringkolbenventile.....	291
10.	Bauelemente der Heiz- und Kühlanlagen.....	293
10.1	Rührbehälter	293
10.1.2	Wärmeübergänge beim Heizen und Kühlen	293
10.2	Druckbehälter.....	300
10.2.1	Ausdehnungsgefäß nach DIN 28001 und DIN 28105	300
10.2.2	Füll- und Abfaßbehälter nach DIN 28001 und DIN 28105	301
10.2.3	Entspannungsbehälter nach DIN 28001 und DIN 28105	302
10.2.4	Druckbehälter für Kaltflüssigkeit nach DIN 28001 und 28105.....	303
10.3	Pumpen.....	303
10.3.1	Heißwasserpumpe	303
10.3.2	Wärmeträgeröl/Heißwasserpumpe	303
10.3.3	Spaltrohrmotorpumpe	306
10.3.4	Pumpen mit Magnetkupplungen	306
10.3.5	Inline-Pumpe.....	310
10.4.1	Rohrbündelwärmeaustauscher	310
10.4.2	Plattenwärmeaustauscher.....	313
10.4.3	Verbesserung der Wärmeübergänge bei Spiralrohr- wärmeaustauschern.....	314
10.5	Werkstoffe für Bauelemente der Heiz- und Kühlanlagen im Niedertemperaturbereich.....	319
11.	Kältesysteme	321
11.1	Kälteversorgung	321
11.2	Kältesysteme	322
11.3	Tieftemperatursystem	323
11.4	Aufbau von Kälteanlagen.....	323
11.4.1	Indirekte Kühlsysteme.....	325
11.4.2	Kältemittelverdichter.....	325
11.4.3	Kältemittelverflüssiger	326
11.4.4	Kältemittelverdampfer	327
11.5	Kaltwassererzeugung.....	330
11.6	Absorptions-Kältemaschine zur Kaltwassererzeugung	332
11.7	Eisspeicher-System	333
12.	Energieeinsparung bei wärmetechnischen Prozessen	335
12.1	Prozessintegrierte Heiz- und Kühlsysteme	335
12.1.1	Heiz- und Kühlverfahren	335

12.2	Energetische Konzeption für Heiz- und Kühlkreisläufe	345
12.3	Anwendungen	347
12.3.1	Heiz- und Kühlsysteme für Autoklaven bei Chargenprozessen	347
12.3.2.	Solespeicher-Systeme	348
12.3.3	Schaltungen von Kältesystemen mit Speicheranlagen	351
12.4	Eisspeicher-System	351
12.4.1	Anlagenbeschreibung	354
12.4.2	Einbindung im Heiz- und Kühlsystem des Chargenprozesses.....	354
12.4.3	Kälteanlagen und Verdampfer mit Eisspeichersystem.....	357
12.5	Warmwassernetz zur Abwärmenutzung.....	357
12.5.1	Aufbau und Schaltungsmöglichkeiten des Netzes	357
12.5.2	Regelungsprinzip im Verbund von Wärmequellen und -senken.....	357
12-6	Wärmeträger-Zweischienensystem.....	359
12.6.1	Aufgabenstellung	359
12.6.2	Verfahrenskonzept.....	359
12.6.3	Konkrete Verfahrensmethoden	361
13.	Entwicklungen-Anwendungen	365
13.1	Anforderungen an Prozessführung	365
13.2	Übersicht.....	365
13.3	Schematische Darstellung und Beschreibung diverser Heiz- und Kühlanlagen.....	367
13.3.1	Druckwasser-, Heiz- und Kühlkreislauf	367
13.3.2	Heiz- und Kühlsystem (Heiß/Kühl/Kalt) für Reaktor	369
13.3.3	Heiz- und Kühlkreisläufe mit integriertem Kältesystem für exotherme Reaktionen.....	371
13.3.4	Heiz- und Kühlkreisläufe mit integriertem Kältesystem	371
13.3.4	Individuelle Heiz- und Kühlkreisläufe für Reaktoren mit zentraler Kälteversorgung	375
13.3.6	Zentrales Druckwasser-Kreislaufsystem.....	377
13.3.7	Einschienen- Heiz- und Kühlsystem für thermische Behandlung im Chargen-Kreislauf	380
13.3.8	Heiz- und Kühlkreisläufe für Reaktoren.....	380
13.3.9	Heiz- und Kühlkreisläufe für Rührkesselanlage	382
13.3.10	Heiz- und Kühlsysteme für Chargenprozesse. Zwei Energie- systeme mit integrierter Kälteanlage	384
13.3.11	Heiz- und Kühlkreisläufe mit Dreiwege-Stellventilen und integriertem Kaltwasserkreislauf	387
13.3.12	Wärmeträgeranlage	387
13.3.13	Sole-Kältekreislauf	390
13.3.14	Kühlsystem (kühl/kalt) für Reaktoren	392
13.3.15	Kaltwasserkreislauf mit Speicher für Plattenwärmeaustauscher.....	393
13.3.16	Heiz- und Kühlsystem für Polymerisations-Reaktor	393
13.3.17	Kaltwassererzeugung durch NH ₃ -Direktverdampfer mit Eisspeicher-System.....	396
13.3.18	Heiz- und Kühlkreisläufe für Reaktor und Kolonne	399
13.3.18	Sekundärkreislauf mit Ventil-Stationen zur Ein- und Ausschleusung von Wärmeträgern	399

13.3.19	Wärmeträgeranlage – Primärsystem. Drei-Energie-Schienensystem (heiß/mittel/kalt)	399
13.3.20	Druckwasser – Heiz- und Kühlkreisläufe für Reaktor und Kolonne.....	402
13.3.22	Energieschienen – Heiz- und Kühlsystem.....	405
13.3.23	Heiz- und Kühlsysteme (Sekundärkreisläufe) für Rühr- kesselanlage und Trockenschränke.....	405
13.3.24	Heiz- und Kühlkreislauf für Rührapparate in Parallel-Schaltung	409
13.3.25	Druckwasserkühlsystem	409
13.3.26	Heiz- und Kühlsystem für Verdüsungsaotklaven.....	410
13.3.27	Kühlssystem für Autoklaven.....	411
13.3.28	Mehrkanalwärmeaustauscher für Heiz- und Kühlsysteme bei Chargenprozessen.....	413
13.3.29	Kühlssystem für Sterilisationsanlage	415
13.3.30	Heiz- und Kühlkreisläufe für Reaktor mit Siedekühlung	416
13.3.31	Heiz- und Kühlkreisläufe für Destillationskolonne mit hochschmelzenden Stoffen.....	417
13.3.32	Heiz- und Kühlkreisläufe (3-Schienensystem) für Rührkessel- anlage mit Destillationsaufbauten	418
13.3.33	Energieschienen-Verbundsystem zur Integration der Prozesswärme	420
13.3.34	Energieschienen-Verbundsystem zur Integration der Prozesswärme (Quellen und Senken) bei tieferen Temperaturen ...	423
13.4	Entwicklung einer Tieftemperatur-Wärmeträgeranlage mit Syltherm XLT	423
13.4.1	Verfahrenstechnische energetische Konzeption für Heiz- und Kühlkreisläufe	433
13-4-2	Sicherheitsmaßnahmen für Wärmeträgeranlagen mit Syltherm XLT	434
13.4.3	Beurteilung und Bewertung.....	435
14.	Formelzeichen	437
15.	Literaturverzeichnis	439
	Stichwortverzeichnis	443