

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen	XV
1 Einleitung	1
Geschichtlicher Überblick	3
2 Wärmeträgermedien	5
2.1 Allgemeines	5
2.1.1 Wasser und Wasserdampf	8
2.1.2 Salzschnmelzen	9
2.1.3 Flüssige Metalle	11
2.2 Organische Wärmeträger	12
2.2.1 Allgemeines	12
2.2.2 Thermische Stabilitätsgrenze	24
2.2.3 Alterung	26
2.2.4 Löslichkeit von Gasen	27
2.2.5 Korrosionsverhalten	32
2.2.6 Herstellung von Wärmeträgern auf Mineralölbasis	34
2.2.7 Herstellung synthetischer Wärmeträger	35
2.2.8 Stoffwerte und Untersuchungsmethoden	36
2.2.9 Einsatzgrenzen	50
2.2.10 Bewertung	58
2.2.11 Physiologische Eigenschaften, Brennbarkeit und Beseitigung	62
2.2.12 Auswahlkriterien für organische Wärmeträger	63
2.2.13 Beachtungsmerkmale und noch offene Fragen bei organischen Wärmeträgermedien	72
2.2.14 Grundsätzliche Ergänzungen zur Thermostabilität und zu den Untersuchungsmethoden	82
2.2.15 Zulässige Filmtemperatur im Erhitzer	110
2.2.16 Stoffwerte von Wärmeträgerölen	128
2.3 Wärmeträger auf Silikonölbasis	128
2.3.1 Allgemeines	132
2.3.2 Wärmebeständigkeit	134
2.3.3 Dampfdruck	134
2.3.4 Wärmeübertragungseigenschaften	135
2.3.5 Betriebssicherheit und Umweltschutz	136
2.3.6 Tieftemperaturverhalten	138
2.3.7 Brandlast	138
2.3.8 Verträglichkeit	139
2.3.9 Zu berücksichtigende verfahrenstechnische Maßnahmen	139
2.3.10 Wärmeträger für den Tieftemperaturbetrieb	143
2.4 Glykolische Wärmeträger	144
2.4.1 Allgemeines	144
2.4.2 Der chemische Aufbau der Polyethylenglykole (PEG)	144
2.4.3 Glykol-Wasser-Gemisch als Wärmeträger	146
3 Aufbau von Wärmeübertragungsanlagen	159
3.1 Bildzeichen, Fließbilder und Kurzzeichen	159

3.2	Anlagensysteme	162
3.2.1	Wärmeübertragung durch freie Konvektion	164
3.2.2	Wärmeübertragung durch Naturkonvektion	164
3.2.3	Wärmeübertragung durch erzwungene Konvektion	166
3.3	Systemaufbau von Anlagen mit erzwungener Konvektion	167
3.3.1	Pumpe im Vorlauf	168
3.3.2	Pumpe im Rücklauf	169
3.3.3	Zweikreisanlage	169
3.4	Systemergänzungen	170
3.4.1	Überlaufleitung	170
3.4.2	Rauchgastemperaturbegrenzer	172
3.4.3	Leckagekontrolle	172
3.4.4	Zusatzrüstungen	172
3.5	Anlagentrennsystem zur Atmosphäre	172
3.5.1	Temperaturverlauf im Ausdehnungsbehälter	172
3.5.2	Unmittelbare Verbindung zur Atmosphäre	175
3.5.3	Kaltmedium-Vorlage	178
3.5.4	Inertgas-Abdeckung	180
3.6	Wärmeträger im Sammelbehälter	184
3.6.1	Entlüftungsleitungen	185
3.7	Parallelschaltung von Erhitzern	186
3.7.1	Pumpen im Vorlauf	186
3.7.2	Pumpen im Rücklauf	187
3.7.3	Primärpumpe und Sekundärpumpe	188
3.8	Strömungstechnische Schaltungsmöglichkeiten der Wärmeverbraucher	189
3.8.1	Überströmregelung	189
3.8.2	Regelung mit Dreiwegeventil	190
3.8.3	Unterregelkreis	191
3.8.4	Heiz- und Kühlkreislauf	192
3.8.5	Primär- und Sekundärkreislauf mit Mischungsregelung des Verbrauchers	193
3.9	Ergänzungen und Zusammenfassung der Anlagensysteme	194
3.9.1	Einbauort des Dreiwegeventils	194
3.9.2	Thermosiphonströmung zum Wärmeverbraucher	196
3.10	Auswahlkriterien für das Anlagensystem	197
3.11	Anlagen mit flüssigem und dampfförmigem Wärmeträger	197
3.12	Anlagenkenndaten	203
3.13	Systemkennlinie der Anlage	208
3.14	Sicherheitstechnische Ausrüstung	209
3.15	Aufbau von Salzschnmelzen-Anlagen	217
3.16	Aufbau von Flüssigmetall-Anlagen	218
4	Wärme- und strömungstechnische Grundlagen	225
4.1	Wärmeträgervolumenstrom	225
4.2	Wärmeträgerseitige Druckverluste	229
4.3	Wärmetechnische Grundlagen	233
5	Erhitzer	239
5.1	Elektroerhitzer	239

5.1.1	Elektroerhitzer in Behälterbauweise	239
5.1.2	Elektroerhitzer mit Rohrsystem	240
5.1.3	Heizelemente	241
5.1.4	Heizkörperereinbau	244
5.1.5	Auslegungsrichtlinien und Bauarten	245
5.2	Direkt befeuerte Erhitzer	260
5.2.1	Verbrennung	260
5.2.2	Verbrennungstemperatur	261
5.2.3	Wärmeabgabe im Flammenraum	265
5.2.4	Max. Flammentemperatur	267
5.2.5	Flammenabmessungen	267
5.2.6	Bestimmung der einzelnen Wärmestromdichten	274
5.2.7	Feuerraumendtemperatur	281
5.2.8	Wärmeaufnahme im Flammenraum durch den Wärmeträger	282
5.2.9	Bauarten von direktbefeuerten Erhitzern	287
5.3	Mit Heißgasen beheizte Erhitzer	299
5.4	Erhitzer mit Vorfeuerungen	310
5.5	Erhitzer-Kennfeld	314
5.5.1	Elektrisch beheizte Erhitzer	314
5.5.2	Direkt befeuerte Erhitzer	315
5.6	Beispielberechnung der höchsten Filmtemperatur im Erhitzer	317
5.7	Ablagerungen und Spannungen in der Erhitzer-Rohrwand	327
6	Anlagenbauelemente	340
6.1	Beheizung	340
6.1.1	Flüssige Brennstoffe	342
6.1.2	Gasförmige Brennstoffe	356
6.1.3	Feste Brennstoffe	360
6.1.4	Verbrennungstechnische Daten für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe	360
6.1.5	Kennwerte von Brenneranlagen	360
6.1.6	Emissionen	371
6.1.6.1	Kohlendioxid	371
6.1.6.2	SO ₂ und SO ₃	371
6.1.6.3	Kohlenmonoxid	372
6.1.6.4	Kohlenwasserstoffe	372
6.1.6.5	Stickstoffoxide	373
6.1.6.6	Staub	374
6.1.6.7	Technische Möglichkeiten zum Vermindern der staubförmigen Emission	375
6.1.6.8	Zyklone	384
6.1.6.9	Lärm	384
6.1.6.10	Zulässige Grenzwerte	384
6.2	Umwälzpumpen	389
6.2.1	Leistungsbedarf	389
6.2.2	Pumpensysteme	391
6.2.3	Kreiselpumpen	392
6.2.4	Bauarten von Wärmeträgerumwälzpumpen	404
6.2.4.1	Leckfreie Kreiselpumpen mit Spaltrohrmotor	404

6.2.4.2	Antrieb über Permanentmagnet	407
6.2.4.3	Normpumpen mit Wellenabdichtung.....	410
6.2.5	Allgemeine Hinweise für die Pumpenaufstellung.....	438
6.2.6	Beachtungsmerkmale bei der Montage und Inbetriebnahme von Pumpenaggregaten	441
6.3	Armaturen	444
6.3.1	Absperrventile	444
6.3.2	Absperrschieber	452
6.3.3	Rückschlagarmaturen.....	454
6.3.4	Schmutzfänger	456
6.3.5	Regelarmaturen	457
6.3.6	Sicherheitsventile.....	470
6.3.7	Berstscheiben	472
6.3.8	Bemessung von Sicherheitsorganen	474
6.3.9	Anschlußarten von Armaturen	479
6.3.10	Armaturen-Abmessungen und Kennzeichnung	480
6.4	Rohrleitungen	480
6.4.1	Rohre.....	480
6.4.2	Rohrdehnungsausgleich	480
6.4.3	Flanschverbindungen.....	486
6.4.4	Wärmedämmung	497
6.5	Behälter	503
6.5.1	Ausdehnungsbehälter	503
6.5.2	Sammelbehälter	505
6.5.3	Speicherbehälter	505
6.5.4	Behältergestaltung und Bemessung	506
7	Wärmeverbraucher	515
7.1	Wärmebedarfsbestimmung	516
7.1.1	Kontinuierliche Aufheizvorgänge von Medien, die ihren Aggregatzustand nicht ändern	516
7.1.2	Kontinuierliche Aufheizvorgänge von Medien, die ihren Aggregatzustand ändern.....	516
7.1.3	Diskontinuierliche Aufheizvorgänge.....	517
7.2	Allgemeine Gestaltungsrichtlinien	520
7.3	Lufterhitzer.....	522
7.4	Rührgefäße, Behälter und Bäder	523
7.5	Wärmetauscher	528
7.6	Dampferzeuger	528
7.7	Brauchwasserbereiter.....	530
7.8	Zylinderbeheizung	532
7.9	Pressenbeheizung	539
7.10	Verschiedene Möglichkeiten von Heizen und Kühlen mit Speicherbehältern ..	541
7.11	Heizen – Kühlen – Tiefkühlen (H–K–T).....	543
7.12	Druckanstieg bei Wärmeeinwirkung auf eine eingeschlossene Flüssigkeit.....	546
7.13	Wärmeverbraucher nach Anwendungsgebieten	547
8	Meß-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)	551
8.1	Meßtechnik	551

8.1.1	Temperaturmessung	551
8.1.2	Druckmessung	554
8.1.3	Füllstandmessung	555
8.1.4	Durchflußmessung	560
8.2	Regeltechnik	571
8.2.1	Allgemeines	571
8.2.2	Regelung mit Zweipunktregler und Brennereingriff	573
8.2.3	Verbraucherregelung	573
8.2.3.1	Verbraucherregelung mittels Dreiwege-Regelventilen	576
8.2.3.2	Verbraucherregelung mittels Durchgangsregelventilen	578
8.2.3.3	Regelung mit konstantem Volumenstrom durch den Verbraucher	581
8.2.3.4	Regelkaskade	582
8.3	Begrenzungsstechnik	583
9	Aufstellungsrichtlinien	585
9.1	Aufstellung der Erhitzer	585
9.2	Heizraumrichtlinien	585
9.2.1	Heizraumanordnung	585
9.2.2	Heizraumgestaltung	585
9.2.3	Heizraumausführungs-Beispiel	588
9.3	Schornsteine	590
9.3.1	Emission und Immission	590
9.3.2	Bemessung des Querschnittes	591
9.3.3	Projektierungshilfen	592
10	Betrieb von Wärmeübertragungsanlagen	597
10.1	Abnahmeprüfung	597
10.2	Reinigung	597
10.3	Dichtheitsprüfung	598
10.4	Füllen der Anlage mit Wärmeträger und Druckprüfung	598
10.5	Funktionsprüfung	599
10.6	Inbetriebnahme	599
10.7	Meßprotokoll	601
10.8	Außerbetriebnahme	602
10.9	Wartung	602
10.9.1	Wärmeträger	602
10.9.2	Erhitzer	607
10.9.3	Sicherheitsgeräte	607
10.9.4	Dichtheit der Anlage	607
10.9.5	Anlagenbauelemente	608
10.10	Instandsetzung	608
11	Gesetze, Verordnungen, Vorschriften, Normen und Richtlinien	611
11.1	Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG)	611
11.2	Richtlinie über Druckgeräte (DGRL)	611
11.2.1	Konformitätsbewertungs-Diagramme	620
11.2.2	Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)	625

11.2.3	Konformitätsbewertungs-Diagramme bei der Prüfung durch eine zugelassene Überwachungsstelle	629
11.3	Unfallverhütungsvorschrift (BGV D3)	639
11.4	Regeln der Technik	640
11.4.1	DIN 4754	640
11.4.2	VDI-Richtlinie VDI 3033	642
11.5	Ergänzende Gesetze und Verordnungen	642
11.5.1	Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	642
11.5.2	Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	642
12	Ergänzende Ausführungen zur Wärmeträgertechnik	647
12.1	Erhitzer in 3-Zug-Bauweise erhöht den Wirkungsgrad	647
12.2	Temperaturregelung für Wärmeaustauscher	650
12.3	Anlagenplanung für eine Backofenbaureihe	651
12.4	Wärmestabilität nicht ignorieren	661
12.5	Professionelle Temperieranlagen nach Maß	669
12.6	Mit neuer Kälteanlage –100 °C sicher und wirtschaftlich beherrschen	671
12.7	Gasreinigung durch Thermische Nachverbrennung (TNV)	676
12.8	Entwicklung kosteneffizienter Kreiselpumpenbaureihen für den Markt der Wärmeübertragungsanlagen, insbesondere zur Förderung moderner synthetischer Wärmeträgermedien und Heißwasser	683
12.9	Armaturen in Wärmeträgerölanlagen	695
12.10	Die preiswerte Magnetkupplungspumpe mit der Sicherheit einer Spaltrohrmotorpumpe: ALLMAG [®] CMA	699
12.11	Schlüsselfertige 12,8-MW-Thermoölanlage für PET-Produktion in Polen	704
12.12	Ein 48-MW-Thermoölsystem für die Erdölgewinnung in China	706
12.13	Über Thermoöl indirekt beheizte ORC-Anlage leistet 1,5 MW	709
12.14	Der sichere Betrieb von Wärmeübertragungsanlagen mit organischen Wärmeträgern	710
12.15	Organische Wärmeträgerflüssigkeiten und deren sichere Anwendung	715
12.16	Druckguß: Vorteile und Wirtschaftlichkeit von Temperiergeräten für den Betrieb mit Wärmeträgeröl	717
12.17	Temperieren bei tiefen Temperaturen	720
12.18	Mögliche Fehlerquellen bei der Auslegung von Wärmeträgeranlagen	725
12.19	Durchlauferhitzer für Wärmeträgeranlagen	735
12.20	Prozesse bis 400 °C isotherm führen	739
12.21	Thermoölwärmeversorgung in einem Holzwerkstoffwerk: Umbaumaßnahmen zur Verbesserung der Wärmeversorgung und -verteilung ..	742
12.22	Wärmeträgereinsatz bei verschmutzten Rauchgasen für kontinuierlichen Betrieb	751
12.23	Thermoölbeheizte Öfen in Backbetrieben vom Handwerk bis zur Großindustrie	754
12.24	Wärmeträgeröl für Vorlauftemperaturen bis 400 °C	758
12.25	Feststofffeuerungen mit 2 × 48 MW Feuerungsleistung	761
13	Gleichungen, Diagramme und Tabellen für Projektierung von Wärmeträgeranlagen in der Flüssigphase	763
13.1	Volumenstrom \dot{V}	763
13.2	Rohrleitungs-Innendurchmesser d_i	765

13.3	Inhalte I	767
13.3.1	Rohrinhalt I_R	767
13.3.2	Apparate – Inhalte I_A	767
13.4	Ausdehnungsvolumen ΔV_{Exp}	770
13.5	Ausdehnungsleitung d_{exp} und Entlüftungsleitung d_{Entl}	772
13.6	Druckverlustberechnung ΔH	773
13.7	Pumpen- und Pumpenmotorleistungsbedarf P_P und P_M	776
13.8	Verhältnis von Wärmeleistung zur Pumpenleistung \dot{V}/P_P	779
13.9	Meßblende und Drosselblende d_{BL} und d_{DR}	780
13.10	Wärmeübertragung α	782
13.10.1	Dampferzeuger	782
13.11	Flammen-, Feuerraum- und Erhitzerabmessungen	783
13.12	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad eines Erhitzers η_F	786
13.13	Brennstoffstrom und Abgasstrom \dot{B} und \dot{V}_A	788
13.14	Ventilatorenleistung P_V	790
13.15	Kamindurchmesser für flüssige und gasformige Brennstoffe d_k	791
13.16	Rohrverlegung	792
13.17	Festigkeitsberechnungen	794
14	Stoffdaten von organischen Wärmeträgerfluiden	833
15	Einheiten und Umrechnungstabellen	925
	Quellenverzeichnis	929
	Literaturverzeichnis	933
	Stichwortverzeichnis	945