

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen	15
1 Einleitung	19
2 Wärmeträgerfluide	23
2.1 Allgemeines	23
2.1.1 Wasser und Wasserdampf	26
2.1.2 Salzschnmelzen	27
2.1.3 Flüssige Metalle	29
2.2 Organische Wärmeträger	30
2.2.1 Allgemeines	30
2.2.2 Thermische Stabilitätsgrenze	44
2.2.3 Alterung	44
2.2.4 Löslichkeit von Gasen	45
2.2.5 Korrosionsverhalten	50
2.2.6 Herstellung von Wärmeträgern auf Mineralölbasis	52
2.2.7 Herstellung synthetischer Wärmeträger	53
2.2.8 Stoffwerte und Untersuchungsmethoden	54
2.2.9 Einsatzgrenzen	68
2.2.10 Bewertung	76
2.2.11 Physiologische Eigenschaften, Brennbarkeit und Beseitigung	80
2.2.12 Auswahlkriterien für organische Wärmeträger	81
2.2.13 Beachtungsmerkmale und noch offene Fragen bei organischen Wärmeträgerfluiden	90
2.2.14 Grundsätzliche Ergänzungen zur Thermostabilität und zu den Untersuchungsmethoden	100
2.2.15 Zulässige Filmtemperatur im Erhitzer	128
2.2.16 Stoffwerte von Wärmeträgerölen	146
2.3 Wärmeträger auf Silikonölbasis	149
2.3.1 Allgemeines	149
2.3.2 Wärmebeständigkeit	151
2.3.3 Dampfdruck	151
2.3.4 Wärmeübertragungseigenschaften	152
2.3.5 Betriebssicherheit und Umweltschutz	153
2.3.6 Tieftemperaturverhalten	155
2.3.7 Brandlast	155
2.3.8 Verträglichkeit	156
2.3.9 Zu berücksichtigende verfahrenstechnische Maßnahmen	156
2.3.10 Wärmeträger für den Tieftemperaturbetrieb	161
2.4 Glykolische Wärmeträger	161
2.4.1 Allgemeines	161
2.4.2 Der chemische Aufbau der Polyethylenglykole (PEG)	162
2.4.3 Glykol-Wasser-Gemisch als Wärmeträger	163
3 Aufbau von Wärmeübertragungsanlagen	175
3.1 Bildzeichen, Fließbilder und Kurzzeichen	175
3.2 Anlagensysteme	178

3.2.1	Wärmeübertragung durch freie Konvektion	180
3.2.2	Wärmeübertragung durch Naturkonvektion	180
3.2.3	Wärmeübertragung durch erzwungene Konvektion	182
3.3	Systemaufbau von Anlagen mit erzwungener Konvektion	183
3.3.1	Pumpe im Vorlauf	184
3.3.2	Pumpe im Rücklauf	185
3.3.3	Zweikreisanlage	185
3.4	Systemergänzungen	186
3.4.1	Überlaufleitung	186
3.4.2	Rauchgastemperaturbegrenzer	188
3.4.3	Leckagekontrolle	188
3.4.4	Zusatzausrüstungen	188
3.5	Anlagentrennsystem zur Atmosphäre	188
3.5.1	Temperaturverlauf im Ausdehnungsbehälter	189
3.5.2	Unmittelbare Verbindung zur Atmosphäre	191
3.5.3	Kaltmedium-Vorlage	194
3.5.4	Inertgas-Abdeckung	196
3.6	Wärmeträger im Sammelbehälter	200
3.6.1	Entlüftungsleitungen	201
3.7	Parallelschaltung von Erhitzern	202
3.7.1	Pumpen im Vorlauf	202
3.7.2	Pumpen im Rücklauf	203
3.7.3	Primärpumpe und Sekundärpumpe	204
3.8	Strömungstechnische Schaltungsmöglichkeiten der Wärmeverbraucher	205
3.8.1	Überströmregelung	205
3.8.2	Regelung mit Dreiwegeventil	206
3.8.3	Unterregelkreis	207
3.8.4	Heiz- und Kühlkreislauf	208
3.8.5	Primär- und Sekundärkreislauf mit Mischungsregelung des Verbrauchers	209
3.9	Ergänzungen und Zusammenfassung der Anlagensysteme	210
3.9.1	Einbauort des Dreiwegeventils	210
3.9.2	Thermosiphonströmung zum Wärmeverbraucher	212
3.10	Auswahlkriterien für das Anlagensystem	213
3.11	Anlagen mit flüssigem und dampfförmigem Wärmeträger	213
3.12	Anlagenkenndaten	219
3.13	Systemkennlinie der Anlage	223
3.14	Sicherheitstechnische Ausrüstung	225
3.15	Aufbau von Salzschnmelzen-Anlagen	233
3.16	Aufbau von Flüssigmetall-Anlagen	236
4	Wärme- und strömungstechnische Grundlagen	241
4.1	Wärmeträgervolumenstrom	241
4.2	Wärmeträgerseitige Druckverluste	245
4.3	Wärmetechnische Grundlagen	249
5	Erhitzer	255
5.1	Elektroerhitzer	255
5.1.1	Elektroerhitzer in Behälterbauweise	255

5.1.2	Elektroerhitzer mit Rohrsystem	256
5.1.3	Heizelemente	257
5.1.4	Heizkörpereinbau	260
5.1.5	Auslegungsrichtlinien und Bauarten	261
5.2	Direkt befeuerte Erhitzer	276
5.2.1	Verbrennung	276
5.2.2	Verbrennungstemperatur	277
5.2.3	Wärmeabgabe im Flammenraum	281
5.2.4	Max. Flammentemperatur	283
5.2.5	Flammenabmessungen	283
5.2.6	Bestimmung der einzelnen Wärmestromdichten	290
5.2.7	Feuerraumendtemperatur	297
5.2.8	Wärmeaufnahme im Flammenraum durch den Wärmeträger	298
5.2.9	Bauarten von direktbefeueren Erhitzern	303
5.3	Mit Heißgasen beheizte Erhitzer	315
5.4	Erhitzer mit Vorfeuerungen	326
5.5	Erhitzer-Kennfeld	330
5.5.1	Elektrisch beheizte Erhitzer	330
5.5.2	Direkt befeuerte Erhitzer	331
5.6	Beispielberechnung der höchsten Filmtemperatur im Erhitzer	333
5.7	Ablagerungen und Spannungen in der Erhitzer-Rohrwand	344
5.8	Maßnahmen zur Verhinderung von Explosionen im Erhitzer	358
6	Anlagenbauelemente	359
6.1	Beheizung	359
6.1.1	Flüssige Brennstoffe	361
6.1.2	Gasförmige Brennstoffe	375
6.1.3	Feste Brennstoffe	379
6.1.4	Verbrennungstechnische Daten für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe	379
6.1.5	Kennwerte von Brenneranlagen	379
6.1.6	Emissionen	390
6.1.6.1	Kohlendioxid	390
6.1.6.2	SO ₂ und SO ₃	390
6.1.6.3	Kohlenmonoxid	391
6.1.6.4	Kohlenwasserstoffe	391
6.1.6.5	Stickstoffoxide	392
6.1.6.6	Staub	393
6.1.6.7	Technische Möglichkeiten zum Vermindern der staubförmigen Emission	394
6.1.6.8	Zyklone	396
6.1.6.9	Lärm	403
6.1.6.10	Zulässige Grenzwerte	403
6.2	Umwälzpumpen	408
6.2.1	Leistungsbedarf	408
6.2.2	Pumpensysteme	410
6.2.3	Kreiselpumpen	411
6.2.4	Bauarten von Wärmeträgerumwälzpumpen	423
6.2.4.1	Leckfreie Kreiselpumpen mit Spaltrohrlmotor	423

6.2.4.2	Antrieb über Permanentmagnet	426
6.2.4.3	Normpumpen mit Wellenabdichtung	429
6.2.5	Allgemeine Hinweise für die Pumpenaufstellung	458
6.2.6	Beachtungsmerkmale bei der Montage und Inbetriebnahme von Pumpenaggregaten	461
6.3	Armaturen	464
6.3.1	Absperrventile	464
6.3.2	Absperrschieber	472
6.3.3	Rückschlagarmaturen	473
6.3.4	Schmutzfänger	480
6.3.5	Regelarmaturen	483
6.3.6	Sicherheitsventile	497
6.3.7	Berstscheiben	499
6.3.8	Bemessung von Sicherheitsorganen	501
6.3.9	Anschlußarten von Armaturen	506
6.3.10	Armaturen-Abmessungen und Kennzeichnung	507
6.4	Rohrleitungen	507
6.4.1	Rohre	507
6.4.2	Rohrdehnungsausgleich	507
6.4.3	Flanschverbindungen	514
6.4.4	Wärmedämmung	524
6.5	Behälter	530
6.5.1	Ausdehnungsbehälter	530
6.5.2	Sammelbehälter	533
6.5.3	Speicherbehälter	533
6.5.4	Behältergestaltung und -bemessung	533
7	Wärmeverbraucher	539
7.1	Wärmebedarfsbestimmung	540
7.1.1	Kontinuierliche Aufheizvorgänge von Medien, die ihren Aggregatzustand nicht ändern	540
7.1.2	Kontinuierliche Aufheizvorgänge von Medien, die ihren Aggregatzustand ändern	540
7.1.3	Diskontinuierliche Aufheizvorgänge	541
7.2	Allgemeine Gestaltungsrichtlinien	544
7.3	Lufterhitzer	546
7.4	Rührgefäße, Behälter und Bäder	547
7.5	Wärmeaustauscher	552
7.6	Dampferzeuger	552
7.7	Brauchwasserbereiter	554
7.8	Zylinderbeheizung	556
7.9	Pressenbeheizung	563
7.10	Verschiedene Möglichkeiten von Heizen und Kühlen mit Speicherbehältern	565
7.11	Heizen – Kühlen – Tiefkühlen (H-K-T)	567
7.12	Druckanstieg bei Wärmeeinwirkung auf eine eingeschlossene Flüssigkeit	570
7.13	Wärmeverbraucher nach Anwendungsgebieten	571
8	Meß-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)	575
8.1	Meßtechnik	575

8.1.1	Temperaturmessung	575
8.1.2	Druckmessung	579
8.1.3	Füllstandmessung	580
8.1.4	Durchflußmessung	585
8.2	Regeltechnik	596
8.2.1	Allgemeines	596
8.2.2	Regelung mit Zweipunktregler und Brenneingriff	598
8.2.3	Verbraucherregelung	598
8.2.3.1	Verbraucherregelung mittels Dreibege-Regelventilen	601
8.2.3.2	Verbraucherregelung mittels Durchgangsregelventilen	603
8.2.3.3	Regelung mit konstantem Volumenstrom durch den Verbraucher	606
8.2.3.4	Regelkaskade	607
8.3	Begrenzungstechnik	608
9	Aufstellungsrichtlinien	611
9.1	Aufstellung der Erhitzer	611
9.2	Heizraumrichtlinien	611
9.2.1	Heizraumanordnung	611
9.2.2	Heizraumgestaltung	611
9.2.3	Heizraumausführungs-Beispiel	614
9.3	Schornsteine	616
9.3.1	Emission und Immission	616
9.3.2	Bemessung des Querschnittes	617
9.3.3	Projektierungshilfen	618
10	Betrieb von Wärmeübertragungsanlagen	623
10.1	Abnahmeprüfung	623
10.2	Reinigung	623
10.3	Dichtheitsprüfung	624
10.4	Füllen der Anlage mit Wärmeträger und Druckprüfung	624
10.5	Funktionsprüfung	626
10.6	Inbetriebnahme	626
10.7	Meßprotokoll	628
10.8	Außerbetriebnahme	629
10.9	Wartung	629
10.9.1	Wärmeträger	629
10.9.2	Erhitzer	634
10.9.3	Sicherheitsgeräte	634
10.9.4	Dichtheit der Anlage	634
10.9.5	Anlagenbauelemente	635
10.10	Instandsetzung	635
11	Gesetze, Verordnungen, Vorschriften, Normen und Richtlinien	637
11.1	Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG)	637
11.2	Richtlinie über Druckgeräte (DGRL)	637
11.2.1	Konformitätsbewertungs-Diagramme	646
11.2.2	Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)	651
11.2.3	Konformitätsbewertungs-Diagramme bei der Prüfung durch eine zugelassene Überwachungsstelle	655

11.3	Regeln der Technik	665
11.3.1	DIN 4754	665
11.3.2	VDI-Richtlinie VDI 3033	666
11.4	Ergänzende Gesetze und Verordnungen	666
11.4.1	Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	666
11.4.2	Umgang mit wassergefährdenden Stoffen.	668
12	Ergänzende Ausführungen zur Wärmeträgertechnik.	671
12.1	Erhitzer in 3-Zug-Bauweise erhöht den Wirkungsgrad.	671
12.2	Temperaturregelung für Wärmeaustauscher	674
12.3	Anlagenplanung für eine Backofenbaureihe	675
12.4	Wärmestabilität nicht ignorieren	685
12.5	Professionelle Temperieranlagen nach Maß	693
12.6	Mit neuer Kälteanlage –100 °C sicher und wirtschaftlich beherrschen	695
12.7	Gasreinigung durch „Thermische Nachverbrennung“ (TNV).	700
12.8	Entwicklung kosteneffizienter Kreislumpumpenbaureihen für den Markt der Wärmeübertragungsanlagen, insbesondere zur Förderung moderner synthetischer Wärmeträgerfluide und Heißwasser.	707
12.9	Armaturen in Wärmeträgerölanlagen.	719
12.10	Die preiswerte Magnetkupplungspumpe mit der Sicherheit einer Spaltrohrmotorpumpe: ALLMAG®-CMA	723
12.11	Schlüsselfertige 12,8-MW-Thermoölanlage für PET-Produktion in Polen	728
12.12	Ein 48-MW-Thermoölsystem für die Erdölgewinnung in China	733
12.13	Über Thermoöl indirekt beheizte ORC-Anlage leistet 1,5 MW	734
12.14	Der sichere Betrieb von Wärmeübertragungsanlagen mit organischen Wärmeträgern.	714
12.15	Organische Wärmeträgerflüssigkeiten und deren sichere Anwendung	739
12.16	Druckguß: Vorteile und Wirtschaftlichkeit von Temperiergeräten für den Betrieb mit Wärmeträgeröl	743
12.17	Temperieren bei tiefen Temperaturen.	744
12.18	Mögliche Fehlerquellen bei der Auslegung von Wärmeträgeranlagen.	749
12.19	Durchlauferhitzer für Wärmeträgeranlagen	759
12.20	Prozesse bis 400 °C isotherm führen	763
12.21	Thermoölwärmeversorgung in einem Holzwerkstoffwerk: Umbaumaßnahmen zur Verbesserung der Wärmeversorgung und -verteilung.	766
12.22	Wärmeträgereinsatz bei verschmutzten Rauchgasen für kontinuierlichen Betrieb	775
12.23	Thermoölbeheizte Öfen in Backbetrieben vom Handwerk bis zur Großindustrie	778
12.24	Wärmeträgeröl für Vorlaufemperaturen bis 400 °C	782
12.25	Feststofffeuerungen mit 2 × 48 MW Feuerungsleistung.	785
12.26	Effiziente und sichere Prozeßwärme mit Therminol®-Wärmeträgerflüssigkeiten.	786
12.27	Wärmeverschiebesystem in einem Dachziegelwerk.	790
12.28	Parabolrinnen-Solkraftwerke – Die größten Thermoölanlagen der Welt	793
13	Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen mit organischen Fluiden (ORC-Anlagen).	801
13.1	Energie aus Holzverbrennung.	802
13.1.1	Wesentliche Baugruppen einer Holzverbrennungsanlage.	802
13.1.2	Materialsammlung und Lagerung	803
13.1.3	Verbrennung von stückigem Material	807

13.2	Zwischenkreis-Wärmeträgersystem	822
13.2.1	Teil-hydriertes-Terphenyl THT: Zusammensetzung von THT	822
13.2.2	Zersetzung	823
13.2.3	Stoffdaten	829
13.2.4	Dampfdruck	834
13.2.5	Löslichkeit von Zersetzungsprodukten und Beimischungen	844
13.2.6	Fluid-Aufbereitung	847
13.2.7	Fouling und Coking	850
13.2.8	Verhalten von THT gegenüber Konstruktionswerkstoffen	851
13.2.9	Brennbarkeit	852
13.2.10	Notkühlsystem	857
13.2.11	Beachtungsmerkmale bei der Planung von Anlagen mit dem Fluid THT	860
13.3	Turbinenkreislauf mit Silikonöl als Fluid	863
13.4	Hilfssysteme zur Erhöhung der Betriebssicherheit und Anlagenverfügbarkeit	869
13.4.1	Anforderungen an Wärmeträgerölanlagen mit Holzfeuerungen für ORC-Stromerzeugung	869
13.4.2	Niedrigsiederentfernung (Leichtsiederaustragung)	870
13.4.3	Automatische Nebenstromfilteranlage	873
13.4.4	Stickstoffüberlagerung mit automatischer Regelung	874
13.4.5	Pumpenleckleitungssammelgefäß	875
13.4.6	Spritzschuttringe an Flanschverbindungen	877
13.4.7	Flammendurchschlagsicherungen	877
13.4.8	Probenahmekühler	877
13.4.9	Saugseitige Drucküberwachung der Primärpumpen	879
13.4.10	Notkühlsysteme mit hoher Reserve und Sicherheit	880
13.4.11	Notkamine und Notluftklappen	882
13.4.12	Notschnellentleerungssysteme	883
13.4.13	Heizflächenreinigung	884

14 Gleichungen, Diagramme und Tabellen für die Projektierung von Wärmeträgeranlagen

in der Flüssigphase	891	
14.1	Volumenstrom \dot{V}	891
14.2	Rohrleitungs-Innendurchmesser d_i	893
14.3	Inhalte I	895
14.3.1	Rohrinhalt I_R	895
14.3.2	Apparate – Inhalte I_A	895
14.4	Ausdehnungsvolumen ΔV_{Exp}	898
14.5	Ausdehnungsleitung d_{exp} und Entlüftungsleitung d_{Entl}	900
14.6	Druckverlustberechnung ΔH	901
14.7	Pumpen- und Pumpenmotorleistungsbedarf P_p und P_M	904
14.8	Verhältnis von Wärmeleistung zur Pumpenleistung \dot{Q}/P_p	907
14.9	Meßblende und Drosselblende d_{BL} und d_{Dr}	908
14.10	Wärmeübertragung und Fluid-Dampfdaten	910
14.10.1	Wärmeübergangskoeffizient α	910
14.10.2	Sattdampfdaten	910
14.11	Flammen-, Feuerraum- und Erhitzerabmessungen	911
14.12	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad eines Erhitzers η_F	914
14.13	Brennstoffstrom und Abgasstrom \dot{B} und \dot{V}_A	916
14.14	Ventilatorenleistung P_v	918

14.15 Kamindurchmesser für flüssige und gasförmige Brennstoffe d_k	919
14.16 Rohrverlegung	920
14.17 Festigkeitsberechnungen.....	922
15 Übersichtsdarstellungen von Baugruppen und Formblättern mit Beispielrechnungen	925
16 Stoffdaten von organischen Wärmeträgerfluiden.....	967
17 Einheiten und Umrechnungstabellen	1073
Quellenverzeichnis	1077
Literaturverzeichnis.....	1081
Firmenverzeichnis	1093
Stichwortverzeichnis.....	1096