

0. Allgemeines/Vorwort	1
1. Einführung	5
2. Die grundsätzlichen Funktionen bei der Wärmeübertragung	9
2.1 Mechanismen der Wärmeübertragung – Erklärung	10
2.2 Definition des Begriffes „Wärme“	11
2.3 Definition des Begriffes „Wärmegleichgewicht“	11
2.4 Grundsatz über den Wärmezustand	12
2.5 Wärmeübertragung	13
3. Maßsysteme und Maßeinheiten	15
3.1 Beschreibung der vier Grundgrößenarten in der Thermodynamik	16
3.2 Die Definitionen der Grundeinheiten	17
3.3 Zusammenfassung des Kapitels Maßsysteme und –einheiten	19
3.4 Umgang und Konversation mit internationalen Einheiten in der Thermodynamik	19
3.5 Umrechnung alte und neue Maßeinheiten in der Lufttechnik	20
3.6 Übersicht: metrische Konversation	26
3.7 Übersicht: Wichtige Formelzeichen und Einheiten	27
4. Wissenswertes über die Temperatur	29
4.1 Die Temperatur und Temperaturmessung	30
4.2 Gasthermometer	31
4.3 Messungen mit anderen Thermometern	31
4.4 Die verschiedenen Temperatur-Skalen	32
4.5 Die Temperaturskala von Kelvin	34
4.6 Verwendung und Umrechnung anderer Temperaturskalen	35
4.7 Festpunkte der Temperaturskala	36
5. Wärmeäquivalente	37
6. Die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz	39
7. Wärmeübertragung	45
7.1 Grundsätzlich Wissenswertes zur Technik der Wärmeübertragung	46
7.2 Der Vorgang der Wärmeübertragung	47
7.3 Grundbegriffe von der Lehre der Wärmeübertragung	51
7.3.1 Die Transportvorgänge bei der Wärmeübertragung	52
7.3.2 Die Wärmeleitung	52
7.3.3 Wärmetransport durch Wärmeübergang (= Konvektion)	53
7.3.4 Die Wärmestrahlung	54
7.3.5 Zusammenfassung zu den Transportvorgängen bei der Wärmeübertragung	54
7.4 Die drei Grundformen der Wärmeübertragung	55
7.4.1 Wärmeübertragung durch Strahlung	56
7.4.1.1 Gesetzmäßigkeiten	57
7.4.1.2 Wärmeübertragung durch Strahlung	57
7.4.2 - Wärmeübertragung durch Wärmeleitung	59
7.4.2.1 Definition	59

7.4.2.2.2 Zusammengesetzte ebene Platten	61
7.4.2.2.3 Zusammengesetzte ebene Platte unterschiedlicher Art	62
7.4.2.2.4 Zylindrische Wand – Rohrwandungen	63
7.4.2.3 Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit I	65
7.4.3 Wärmeübertragung durch Konvektion (Wärmeübergang, Wärmedurchgang)	67
7.4.3.1 Erzwungene und freie Konvektion	67
7.4.3.3 Ermittlung der Wärmeübergangszahl a	70
7.4.3.3.1 Strömung längs einer ebenen Platte weiter	73
7.4.3.3.2 Turbulente Strömung im geraden Rohr	74
7.4.3.3.3 Quer angeströmte Rohrbündel	74
7.4.3.3.4 Wärmeübergang bei Änderung des Aggregatzustandes	75
7.4.3.3.5 Tropfenkondensation	76
7.4.3.3.6 Verdampfung	76
7.4.4 Wärmeübergang durch Konvektion bei laminarer und turbulenter Strömung	77
7.4.4.1 Kenngrößen von Flüssigkeiten und Gasen	77
7.4.4.2 Wärmeübergang im Rohr	79
7.4.4.2.1 Flüssigkeiten im Rohr	79
7.4.4.2.2 Fließendes Wasser im Rohr	80
7.4.4.2.3 Fließendes Öl im Rohr	80
7.4.4.3 Wärmeübergang am Rohr	82
7.4.4.3.4 Wärmeübergangszahl bei kondensierenden Dämpfen (Verflüssigung)	84
7.4.4.4 Wärmeübergangszahl bei freier Strömung	86
7.4.4.5 Wärmeübergangszahl bei Rippenrohren	87
7.4.4.6 Wärmeübergangszahl bei Rieselfilmen	89
7.5 Auf ein (Vor-) Wort zum „k- Wert“	91
7.5.1 Wärmedurchgangszahl k	92
7.5.2 Der technisch reale k-Wert	95
7.5.2.1 Die Berechnung des k-Wertes bei Rippenrohren	99
8. Wärmeübertragungsmittel: Fluide und Gase	101
8.1 Wasserdampf	102
8.2 Dampf als Medium zur Wärmeübertragung	112
8.2.1 Die thermische Zustandsgleichung der Dämpfe	112
8.2.1.1 Der isobare Verdampfungsvorgang	112
8.2.2 Das Zweiphasensystem Flüssigkeit – Dampf	115
8.2.3 Der überhitzte Dampf	116
8.3 Heisswasser – Warmwasser	118
8.4 Besondere Heizmittel	119
8.5 Kältemittel	120
8.6 Gasförmige Stoffe	126
8.7 Dampf-Luft-Gemisch (feuchte Luft)	127

9. Thermische Erscheinungen bei festen Körpern und Flüssigkeiten	136
9.1 Einleitung	136
9.2 Kalorische Eigenschaften von Stoffen	137
9.3 Feste Körper	138
9.3.1 Feste Körper: Längenausdehnung	139
9.3.1.1 Ermittlung und Umgang Längenausdehnungszahl α	139
9.4 Längenausdehnungskoeffizienten α von Kupferwerkstoffen	141
9.5 Längenausdehnungskoeffizienten α von Stählen	142
9.5.1 Beispielrechnung Längenausdehnung	143
9.6 Feste Körper: Flächenausdehnung	146
9.7 Feste Körper: Volumenausdehnung	147
9.8 Flüssige Körper Wärmeausdehnung	148
9.8.1 Volumenausdehnung	148
9.8.2 Beispielrechnung Volumenausdehnung	149
9.9 spezifische Wärme bei Flüssigkeiten (c_p -Wert)	150
9.10 Schmelzwärme, Verdampfungswärme	151
10. Begriff des Wärmetauschers/ Wärmeübertragers	153
10.1.1 Wärmeübertrager für die „mittelbare“ Wärmeübertragung	154
10.1.2 Grundbegriffe und Definitionen in der DIN/VDI 2076	158
10.1.2.1. Wärmeaustauscher	158
10.1.2.2. Trennwand-Wärmeaustauscher (Rekuperator)	158
10.1.2.3. Speicher-Wärmeaustauscher (Regenerator)	158
10.1.2.4. Stromführung	159
10.1.2.5. Der Wärmeaustausch	159
10.1.2.6. Der Druckabfall	161
10.1.3 Einsatzbereiche und Bauarten von Wärmeaustauschern	161
10.1.3.1 Einsatzbereiche	161
10.1.3.2 Wärmeübertrager-Bauarten	162
10.1.4.3 Wärmeübertrager-Entwicklung und –Neuentwicklungen	166
10.2. Wissenswertes über Lamellen-Wärmeaustauscher	169
10.2.1 Grundlegende Bemerkungen zu dieser Art Wärmeübertrager	171
10.2.2 Beschreibung Wärmetauscher-Technik und –Geometrien	171
10.2.3 Arbeiten mit Merk- oder Arbeitsblättern	172
10.2.3.1 allgemeine, LWT-spezifische Details	173
10.2.3.2 Technische LWT-spezifische Details	173
10.2.3.1 Allgemeine gebräuchliche Einteilung und Unterscheidung	173
10.2.3.2 Erklärung der Bezeichnungen für einzelne Bauteile eines LWTs	175
10.2.3.3 Allgemein LWT-spezifische Details	176
10.2.4.1 LWT-technisch-spezifische Details	178
10.2.4.2 LWT-technisch- spezifische Details	179
10.2.4.3 ESAPO Einbau- Sammler- Anschluß- Position	180
10.2.4.4 LWT-technisch-spezifische Details	181

10.2.4.5 LWT-technisch-spezifische Details: Konstruktionen für Betrieb mit Medium Dampf	182
10.2.4.6 Betriebssicherheit bei den Kernrohrdurchführungen	183
10.2.4.7 Konstruktionen für Kernrohrdurchführungen	185
10.2.4.8 Einbau- und aufstellungsbedingte Konstruktionen allgemein	185
10.2.4.9 Betriebsartbedingte Konstruktionen, Rohrschaltungen	187
10.2.4.10 Anweisung zur Ausführung von Direktverdampfern mit Kältemittleinspritzung	188
10.2.4.11 Anschlußausführung eines LWT als Kombi- DV / KO im Umschaltbetrieb für die Wärmerückgewinnung	190
10.3 Platten-Wärmetauscher	191
10.6.1 Einleitung	192
10.3.2 Unterschiedliche Konstruktionen, prinzipieller Aufbau	193
10.3.2.1 Gedichteter Plattenwärmeübertrager	193
10.3.2.2 Verschweißte Plattenwärmeübertrager	195
10.3.2.3 Gelötete Plattenwärmeübertrager	195
10.3.2.4 Kombinierte Ausführung Plattenwärmeübertrager (Kassettenbauart)	196
10.3.2.5 Sicherheitsausführung mit Doppelplatten	196
10.3.3 Die Wärmeübertragungsplatten	196
10.3.4 Abdichtung der Plattenpakete	198
10.3.4.1 Dichtungssonderwerkstoffe	200
10.4 Rohrbündel-Wärmeübertrager	201
10.4.1 Unterschiedliche Konstruktionen, prinzipieller Aufbau	202
10.4.1.2 U-Rohrbündel-Wärmeübertrager	202
10.4.1.3 Geradrohr-Wärmeübertrager mit Kompensator	203
10.4.1.4 Geradrohr-Wärmeübertrager mit Schwimmkopf	203
10.4.1.5 Doppelrohr-Wärmeübertrager	204
10.4.2 Praktische Vorteile	204
10.4.2.1 Vorteile in den Prozessansprüchen	204
10.4.2.2 Vorteile im Handling und Wartungsfall	205
10.4.3 Wirtschaftlichkeit	205
10.5 Plate & Shell - Heat Exchangers	207
10.5.1 Einleitung	208
10.5.1.1 Die Grundidee des Plate & Shell heat exchanger (PSHE)	208
10.5.1.2 Das Beste aus zwei Welten	208
10.5.2 Aufbau kompakter Wärmeübertrager	209
10.5.2.1 Die Wärmeübertragungsplatten	209
10.5.2.2 Das Plattenpaket	210
10.5.3 Wärmetauscher-interne Schaltung der Strömungswege	211
10.5.4 Die Ausführung des Plate & Heat-Wärmeübertragers	212
10.5.5 Unterschiedliche Konstruktionen und Ausführungen	214
10.5.6 Demonstration Größenvergleich	216

11. Werkstoff- und Materialinformationen	217
11.1 Einführung	218
11.2 Allgemeine Vorbemerkung	219
11.3 LWT - spezifische Details:	223
11.4 Allgemeine LWT-Standards	224
11.4.1 LWT-Rahmenmaterial	224
11.4.2 Kombination Lamellen / Kernrohre	225
11.5 Allgemeines über Werkstoffe und Materialeinsatz im Wärmetauscher-Apparatebau	226
11.6 Sonderwerkstoffe	226
11.7 Allgemeine Materialinformationen	226
11.7.1 Betriebs- und Prüfbedingungen für Cu / Al - Lamellen-Wärmeaustauscher als Klima-Wärmetauscher	228
11.8 Allgemeine Betrachtungen zum Thema Werkstoffauswahl und Korrosion	229
11.9 Allgemeines über Werkstoffe für Wärmetauscher-Rohre	230
11.10 Allgemeines über Werkstoffe für Wärmetauscher-Lamellen	237
11.11 Allgemeines über Materialien für LWT-Wärmetauscher-Rahmenteile	240
11.12 Allg. über Materialien für Wärmetauscher-Sammel- und Verteilerrohre	240
11.13 Anhang mit Übersichtstafeln und Arbeitblättern	241
11.13.2 Anhang/Arbeitsunterlagen:- Informations- und Merkblätter	242
11.14 Materialien und Werkstoffe für die Anwendungen im Wärmeaustauscherbau	256
12. Das L.T.B. Sint-Fluid-Prinzip	257
12.1 Kleine Ursache > große Wirkung	258
12.1.1 Verhältnis der Wärmeaustauschflächen	259
12.1.2 Konstruktion/ Variantenvielfalt	259
12.1.3 Die Wärmedurchgangszahl – der k-Wert	259
12.1.4 Zusammenfassung/ Kurzbeschreibung	260
12.2 Vergleich/ Unterschiede zu konventionellen Wärmeübertragungssystemen	260
12.3. Vorteile	261
12.4 Anwendungsgebiete für LTB - SintFluid®-Wärmeaustauscher	263
12.4.1 Anwendungsgebiete als Rohrbündel-Wärmeaustauscher	263
12.4.2 Anwendungsgebiete als Platten-Wärmeaustauscher	263
12.4.3 Anwendungsgebiete als Lufttechnik-Wärmeaustauscher	264
12.5 Prinzipklärung	264
12.5.1 Erklärung des SintFluid®-Prinzips	264
12.5.3 Aufbaubeschreibung eines konventionellen Parallelströmers (RbWT)	265
12.5.4 Aufbaubeschreibung eines Parallelströmers nach dem Prinzip	266
12.5.5 Aufbau außerhalb der Austauschrohre (primärseitig)	266
12.5.6 Beschreibung der Arbeitsweise außerhalb der Kernrohre (primärseitig)	268
12.6 Der Einsatz von variablen Elementen und Materialien	273
12.6.1 Kernrohre	273
12.6.2 Poröse Füllmasse (Granulat)	274
12.7 Der modulare Aufbau	274
12.8 Werkstoffe, Materialhalbzeuge, Hersteller, Fertigungsstätten	275
12.8.1 in Frage kommende Materialien und -halbzeuge, Formen	275

13. Berechnungen von Rohrbündel-Wärmeübertrager	277
13.1. Grundlegende Bemerkungen zu Berechnung der Wärmeübertrager (Rekuperatoren)	278
13.1.1 Systematik der Wärmeübertrager	278
13.1.2 Gültigkeitsbereich der Berechnungsgleichungen	279
13.2. Berechnung des Parallelströmers	279
13.3. Berechnung des Kreuzströmers	292
13.4. Vergleich der verschiedenen Grundsaltungen	304
13.5. Gekoppelte Wärmeübertrager	308
14. Berechnung von Lamellenwärmeübertragern	319
14.1. Einleitung	420
14.2. Die notwendigen Vorgaben zur Berechnung/Auslegung eines LWTs	312
14.3. Wir arbeiten mit Merk- oder Arbeitsblättern	323
14.3.1 Aufgabe 1: Luffthitzer für Kanaleinbau	327
14.3.2. Aufgabe 2: Luftkühler für Geräteeinbau	375
15. Wissenswertes über das h, x - Diagramm	407
15.1 Kleine Fibel zur „Luft“ – Definitionen und Grundsätzliches	408
15.1.1 Was ist Luft?	408
15.1.1.1 Eigenschaften der Atmosphäre	408
15.1.3 Barometrische Höhenformel	409
15.1.4 Zusammensetzung der Luft	409
15.1.5 Luft-Feuchtigkeit	410
15.1.6 Kenngrößen der feuchten Luft	410
15.2 Beschreibung Diagrammaufbau	412
15.2.1 Der Diagrammaufbau im Gesamt-Überblick	413
15.3 Darstellung von Zustandsänderungen der Luft	414
15.3.1 Mischung	414
15.3.2 Erwärmung	415
15.3.3 Kühlung und Entfeuchtung	416
15.3.5 Entfeuchtung	418
15.3.6 Darstellung von „sensiblen“ und „latenten“ Leistungen	419
15.3.7 Darstellung von sensiblen und latenten Leistungen mit S/T-Faktor	420
15.3.8 Luft – Befeuchtung	422
15.3.8.1 Befeuchtung mittels Wasser	422
15.3.8.2 Die Dampf-befeuchtung	423
15.3.9 Die adiabatische Zustandsänderung	423
15.3.10 Dampf-Luft-Gemisch (feuchte Luft)	424
15.3.11 Anwendungen des h - x -Diagramms	425
15.3.11.1 Mischung von Luftmengen	425

16. Wärmerückgewinnung	439
16.1 Wärmerückgewinnungs-Systeme	440
16.2 Zwillings-Wärmeaustauscher zur Wärmerückgewinnung	446
16.2 Zwillings-Wärmeaustauscher Ausführungen im Standard-Herstellerprogramm	446
16.2.1 Schema und Erklärungen	447
16.2.2 Definition des Begriffs „Wirkungsgrad“	448
16.2.3 Definition der allg. verwendeten Begriffe „...“-Luft im WRG – System	449
16.2.4 Häufige Auslegungs-Vorgabefehler und die Auswirkung im Betrieb	449
16.2.4.1. Bedeutung und Auswirkung unklarer Angaben zur Luftmenge	450
16.2.4.2 Zusammenhang WRG -Wirkungsgrad und rel. Feuchte	451
16.2.5 LWT-spezifische Besonderheiten bei der Auslegung / Konstruktion	453
16.2.6 Überschlägige Berechnung Zwillingswärmetauscher WTZ	456
16.2.7 Abschätzung von Fehlerquellen bei der WT-Auslegung	459
16.2.7.1 Fehlerabschätzung, Risikobewusstsein	459
16.2.7.2 Vollastregelung	460
16.2.7.3 Abnahmekriterien	460
16.2.7.4 Verschmutzung	460
16.2.7.5 Ventiltorkennlinie	460
16.2.7.6 Temperaturdifferenz	460
16.2.7.7 luftseitige Beaufschlagung	461
16.2.7.8 Planungsaufwand	461
16.2.7.9 Wahrscheinlichkeit und Anwendung	461
16.2.8 Ausschreibungstext	462
16.2.8.1 Wärmeaustauscher-Hauptabmessungen	464
16.2.8.2 Wärmeaustauscher technische Ausführungen	465
16.2.8.3 Übersicht - Tabelle bevorzugte Frontflächen m ²	466
16.3 Die Physik der Kreislaufverbundsysteme	469
16.3.1. Zusammenfassung	470
16.3.2. Hochleistungswärmerückgewinnung auf Basis des Kreislauf-Verbund-Systems	470
16.3.3. Konstruktionskriterien nach VDI 6022	473
16.3.4. Mehrstufige adiabatische Verdunstungssysteme	474
16.3.5. Integrierte Gesamtsysteme	475
16.3.6 Abschließende Betrachtung	476
16.4 Wärmeaustauscher in APESS-WRG-Anlagen	479
16.4.4 Nachrüstbarkeit	482
16.4.5 Betrachtungen zum „COP-Wert“	483
16.4.6 Betrachtungen der „Rückwärmzahl“	484
16.4.7 Zusammenhang zwischen WRG, Rückwärmzahl und rel. Feuchte	484
16.4.8 Umluft als Wärmerückgewinnung	485
16.4.10 Betrachtungen zum „Heizen“	488
16.4.11 Betrachtungen zum „Kühlen“	488
16.4.12 Betrachtungen zur „Entfeuchtung“	491

16.4.13 Rolle des „Volumenstroms“	491
16.4.14 Die Vorteile nochmals im Überblick	492
16.4.15 APESS®-Integral	493
16.5 Sorptions-Rotor-Übertrager und begleitende Systeme	499
16.5.1 Der Natur auf der Spur	500
16.5.2 Rotorentechnik	501
16.5.2.1 Prinzipien	501
16.5.2.2 Grundsätzlicher Aufbau der Rotoren	502
16.5.2.3 Aufbau Enthalpierotor und Sorptionsrotor	503
16.5.2.4 Sorptionsmittel	503
16.5.2.5 Luftentfeuchtung mit Rotoren (sorptiv)	504
16.5.3 Der Wärmerückgewinnungsrotor (WRG-Rotor)	504
16.5.4 Die Verfahren der Luftentfeuchtung	505
16.5.4.1 Luftentfeuchtung durch Kompressionskühlung (Kältetechnik)	505
16.5.4.2 Sorptions- Luftentfeuchtung	505
16.5.4.3 Verdunstungskühlung	506
16.5.4.4 Technische Grundlage Verdunstungskühler	506
16.5.4.5 Verdunstungskühler und Luftbefeuchter im Winter	507
16.5.5 System DesiCool	507
16.5.5.1 Einleitung	507
16.5.5.2 Funktion im Sommer	508
16.5.5.3 Funktion im Winter	508
16.5.6 System POPcool (Power-Optimized Process für cooling)	509
16.5.6.1 POPcool im Sommer	510
16.5.6.2 POPcool im Winter	510
16.5.7 Der spezielle Plattentauscher	510
16.5.8 Investitionskosten	511
17. Anhang	512
17.1 Visitenkarten der Marktpartner	513
17.2 Inserentenverzeichnis	519
17.3 Autorenverzeichnis	523