

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	IX
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Definitionen zur Abwärme	3
2 Grundlagen der Abwärmenutzung	5
2.1 Thermodynamische Grundlagen	5
2.1.1 Erster Hauptsatz der Thermodynamik	6
2.1.2 Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	20
2.1.3 Exergie und Anergie	26
2.1.4 Wärmeübertragung	28
2.1.5 Aufwertung von Wärme	44
2.2 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung	54
2.2.1 Grundlagen des wirtschaftlichen Handelns von Unternehmen	54
2.2.2 Verfahren der statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung	57
2.2.3 Verfahren der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung	64
3 Charakteristika von Wärmeströmen	71
3.1 Begrenzungen und Randbedingungen bei der Nutzung von Wärmeströmen	73
3.1.1 Räumliche Randbedingungen	74
3.1.2 Zeitliche Randbedingungen	76
3.1.3 Physikalische Randbedingungen	80
3.1.4 Stoffliche Randbedingungen	83
3.2 Auswirkungen auf die Abwärmenutzung	88
3.3 Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung	90
4 Technologien zur Abwärmenutzung	93
4.1 Rekuperative Wärmeübertragung	94
4.1.1 Rohrbündel-Wärmeübertrager	97
4.1.2 Platten-Wärmeübertrager	101
4.1.3 Doppelrohr-Wärmeübertrager	105
4.1.4 Spiral-Wärmeübertrager	106
4.1.5 Rippenrohr-Wärmeübertrager	107
4.1.6 Wärmerohr-Wärmeübertrager	109
4.1.7 Verflüssiger und Verdampfer	110
4.1.8 Vergleich der Wärmeübertrager	112

4.2	Regenerative Wärmeübertragung	113
4.2.1	Regeneratoren für den Hochtemperatureinsatz	114
4.2.2	Regeneratoren in der Lüftungstechnik	119
4.2.3	Sonderanwendung „Kyoto-Kühlung“	123
4.3	Wärmespeicher	124
4.3.1	Warmwasserspeicher	128
4.3.2	Thermoölspeicher	130
4.3.3	Dampfspeicher	132
4.3.4	Flüssigsalzspeicher	133
4.3.5	Feststoffspeicher	134
4.3.6	Latente und sorptive Speicherung	136
4.4	Wärmenutzung zur Stromerzeugung	140
4.4.1	Dampfkraftprozesse	141
4.4.2	Thermoelektrische Generatoren	145
4.5	Wärmenutzung durch Aufwertung	147
4.5.1	Brüdenverdichter	147
4.5.2	Wärmepumpen	151
4.5.3	Wärmetransformator	163
5	Methoden zur Identifikation und Optimierung	169
5.1	Pinch-Analyse	170
5.1.1	Grundlagen	170
5.1.2	Composite Curve	172
5.1.3	Wärmekapazitätsstromtabelle und Grand Composite Curve	178
5.1.4	Wärmeübertragernetzwerke	187
5.1.5	Gesamtheitliche Optimierungsansätze	195
5.2	Optimierung	198
5.3	Zeitabhängige Prozesse (Batch-Prozesse)	199
5.3.1	Pinch-Analyse für Batch-Prozesse	202
5.3.2	Vereinfachte Optimierungsansätze	204
5.4	Exergo-ökonomische Analyse	211
5.4.1	Exergetische Analyse	212
5.4.2	Ökonomische Analyse	214
5.4.3	Exergo-ökonomische Analyse	215
6	Integration von Anlagen	219
6.1	Typische Temperaturniveaus	219
6.2	Integration von Wärmeübertragernetzwerke	220
6.3	Grobdimensionierung von Wärmepumpen und Brüdenverdichtern	220

6.3.1	Flexibilität	223
6.3.2	Redundanz	224
6.3.3	Integration von Wärmespeicher.	224
6.3.4	Umfeldintegration oder außerbetriebliche Abwärmenutzung.	225
6.4	Einspeisung der Abwärme in ein Nah-/Fernwärmenetz.	225
6.4.1	Integration von Brüdenverdichtern	233
7	Potentiale in Deutschland	235
7.1	Prozesswärmebedarf	235
7.2	Branchengliederung	238
7.2.1	Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie	239
7.2.2	Papierindustrie	247
7.2.3	Druckereien	253
7.2.4	Petrochemie	256
7.2.5	Chemische Industrie.	258
7.2.6	Kunststoff verarbeitende Industrie	261
7.2.7	Verarbeitung von Steinen und Erden	266
7.2.8	Metallerzeugung	273
7.2.9	Metallverarbeitung	277
7.3	Typische Prozesse oder Querschnittsprozesse	281
7.3.1	Druckluftanlagen	282
7.3.2	Raumlufttechnische Anlagen	286
7.3.3	Trocknungsanlagen	290
7.3.4	Kälteanlagen	292
7.3.5	Abwassernutzung	295
7.4	Abwärmepotentiale im mittleren und niedrigen Temperaturbereich.	302
7.4.1	Überblick und Zusammenfassung von Abwärmepotentialstudien	302
7.4.2	Abwärmepotential in der Industrie für die externe Nutzung	308
8	Innovation	315
8.1	Patente	316
8.2	Produktion und Außenhandel mit Wärmeübertragern	322
8.3	Neue Materialien	326
8.4	Neue Fertigungsverfahren	327
9	Ausblick.	331
10	Literatur.	333
10.1	Literatur zur Einleitung	333
10.2	Literatur zu Grundlagen der Abwärmenutzung	333

10.3	Literatur zu Charakteristika von Wärmeströmen	335
10.4	Literatur zu Technologien zur Abwärmenutzung	336
10.5	Literatur zu Methoden zur Identifikation und Optimierung	344
10.6	Literatur zu Integration von Anlagen	347
10.7	Literatur zu Potentiale in Deutschland	348
10.8	Literatur zu Innovation	354
10.9	Literatur zu Ausblick	354