

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil.

Kurze Geschichte der Wärmekraftmaschinen. Umwandlung der Brennstoffwärme in Arbeit. Wärmetechnisches Berechnen und Verhalten von Dampfkesseln.

Seite

I. Entwicklung und derzeitiger Stand des Wärmekraftmaschinenbaues	1
1. Einleitung	1
2. Kurze Geschichte der Wärmekraftmaschinen	3
a) Die Zeit bis zur Einführung von Wasserrohrkesseln, 1699—1856	3
b) Die Zeit bis zur Einführung der Dampfturbinen, 1856—1902	6
c) Die Zeit bis zur Einführung der Kohlenstaubfeuerungen, 1902—1922	8
d) Die Zeit der Riesenessel und -turbinen, 1922—1930	10
e) Die Zeit des Höchstdruckdampfes, 1930 bis heute	12
II. Umwandlung der Brennstoffwärme in Arbeit	15
A. Die Brennstoffe	15
1. Entstehen der Brennstoffe	15
2. Kohlenvorkommen	15
3. Gewinnung und Aufbereitung	16
a) Steinkohle	16
b) Braunkohle und Braunkohlenbriketts	16
c) Steinkohlenschwelkoks	16
d) Braunkohlenschwelkoks	17
e) Torf	17
f) Klassifizierung der Kohlen	18
g) Härte von Brennstoffen	19
4. Zusammensetzung der Kohle und ihr Verhalten bei der Verbrennung	22
5. Unterer und oberer Heizwert (Verbrennungswärme)	25
6. Wirtschaftlichkeitsbereich verschiedener Brennstoffe	28
7. Das Sortenproblem	28
B. Theoretische Grundlagen der Verbrennung in Kesselfeuerungen	31
1. Einleitung	31
2. Verbrennung auf Wanderrosten	32
3. Verbrennung in Staubfeuerungen	34
C. Die Arbeitsprozesse der Wärmekraftmaschinen	38
1. Einleitung	38
2. Die Wasserdampf-Kreisprozesse	38
a) Der Carnot- und Clausius-Rankine-Kreisprozeß	38
b) Die Kreisprozesse bei Zwischenüberhitzung und Regenerativvorwärmung	42
c) Der Nutzen von Frischdampf hoher Spannung	44
3. Die Zweistoff-Kreisprozesse	47
a) Das Emmet-Verfahren	47
b) Das Koenemann-Verfahren	47
c) Das Mischdampfverfahren von Irinyi	48
4. Die Gasturbinen	49
5. Atomkrafterzeugung	51
6. Rückblick	52
III. Der Wärmeübergang in Wasserrohrkesseln	52
A. Die Gesetze über den Wärmeübergang in rauchgasberührten Heizflächen	52
1. Einleitung	52
2. Strömung und Wärmeübergang	53
a) Reynoldssche Zahl	53
b) Äußerer Wärmeübergang	56
c) Innerer Wärmeübergang	57
3. Durch Berührung übertragene Wärmemenge	61
4. Wärmeübergang durch Strahlung	64
a) Strahlung fester Körper	64
b) Strahlung von Gasen und Flammen	66
c) Wärmeaustausch strahlender Flächen	70

	Seite
B. Wärmeübergang und Zugverlust von Heizflächen	73
1. Berechnung des Zugverlustes	73
a) Heizflächen aus glatten Rohren	73
b) Heizflächen aus Rohren bei sehr hoher Gasgeschwindigkeit	77
c) Heizflächen aus Rippenrohren (Rippenrohrekonomiser)	79
d) Heizflächen aus Platten (Taschenluftvorwärmer)	79
e) Röhrenluftvorwärmer	81
2. Leitung und Zugverlust rauchgasberührter Heizflächen	83
a) Die Ausgangswerte	83
b) Untersuchung ausgeführter Anlagen	84
c) Wärmedurchgangszahl und Zugverlust von Heizflächen aus Rippenrohren	89
C. Die Berechnung rauchgasberührter Heizflächen	89
1. Erklärung der Rechentafeln 1a bis 17b	89
2. Berechnung der Temperatur in Schmelzkammerfeuerungen	124
3. Berechnung der Feuerraumtemperatur nach Gunz	128
4. Schlußbemerkungen zu den Berechnungsverfahren in Abschnitt 1 bis 3	130
5. Rechnungshilfen	135
D. Zuverlässigkeit der Tafeln 5a bis 16b	137
1. Von den Tafeln nicht erfaßte Einflüsse	137
2. Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung	138
a) „Mittlere Feuerraumtemperatur“	138
b) Temperaturverlauf in Berührungsheizflächen	141
c) Temperatur des überhitzten Dampfes	141
3. Vollständige Rechenbeispiele	141
E. Vorausberechnung des Kesselwirkungsgrades	153
1. Zulässige Abgastemperatur	153
2. Verluste durch Unverbranntes in den Rückständen	154
3. Verlust durch Wärmeableitung und -abstrahlung	159
4. Aufstellung der Wärmebilanz	159
5. Angabe der Kesselbelastung (Boiler rating)	160
F. Berechnung des Temperaturverlaufes von Rauchgasen in Heizflächen mit Tafel 17b (Jt-Tafel)	161
1. Einleitung	161
2. Rechnungsgrundlagen	161
3. Aufbau von Tafel 17b	162
4. Rechenbeispiele	164
IV. Das Verhalten von Feuerräumen	180
1. Temperaturverlauf in Feuerräumen	180
2. Wärmebilanz von Feuerräumen	186
3. Die Haupteinflüsse auf das Verhalten von Feuerräumen	190
a) Kohlenzusammensetzung	190
b) Temperatur der Verbrennungsluft	191
c) Verschiedene spezifische Feuerraumbelastung bei gleicher Gesamtbelastung	192
d) Feuerungsart	193
e) Kühlung des Feuerraumes	194
f) Gestalt des Feuerraumes	198
4. Verhalten bestrahlter Heizflächen	200
a) Nackte Rohre	200
b) Armierte Rohre	203
5. Die Einmauerung	205
V. Das Verhalten von Dampferzeugern	211
A. Wärmeübergangszahl und Berührungsheizfläche	211
1. Einleitung	211
2. Einflüsse auf die Wärmeübergangszahl von Kesselheizflächen	212
a) Durchmesser der Siederohre	212
b) Zusammensetzung der Rauchgase und der Kohle	212
3. Einflüsse auf die Berührungsheizfläche von Kesseln	214
a) Rauchgasgeschwindigkeit und -zusammensetzung	214
b) Kesseldruck	215

	Seite
B. Das Verhalten des eigentlichen Kessels	216
1. Einflüsse auf die Gesamtheizfläche von Kesseln	216
a) Zusammensetzung der Kohle	217
b) Größe der Vorheizfläche	218
c) Mit der Belastung veränderlicher CO_2 -Gehalt der Rauchgase	219
d) Größe der Nachheizfläche	220
e) Nachverbrennungen	221
f) Luft- und Speisewasservorwärmung (Kessel I)	223
g) Abgastemperatur bzw. Kesselwirkungsgrad (Kessel II)	223
h) Spezifische Rostbelastung bei veränderlicher Abgastemperatur (Kessel III)	224
i) Spezifische Rostbelastung bei konstanter Abgastemperatur (Kessel IV)	224
k) Dampfdruck (Kessel V)	225
2. Verhalten von Überhitzern	225
a) Berührungüberhitzer und Strahlungsüberhitzer	227
b) Abhilfe bei unrichtiger Überhitzung	229
c) Einfluß der Speisewassertemperatur auf die Überhitzung	229
3. Höchstleistung ganzer Dampfkesselheizflächen	229

Zweiter Teil.

**Baustoffe. Wasserumlauf in Dampfkesseln. Konstruktion,
Kosten und betriebliches Verhalten von Dampfkesseln und Feuerungen.**

Kesselanlage und übriges Kraftwerk. Allgemeine energiewirtschaftliche Fragen. Atomkraftwerke.

VI. Kesselbaustoffe	232
A. Eigenschaften von Stählen	232
1. Einleitung	232
2. Die Festigkeitsbegriffe	234
3. Einfluß der Temperatur auf die Festigkeit	236
4. Legierte Stähle	238
5. Die Legierungsstoffe	238
a) Einfluß und Eigenschaften	240
b) Preise von legierten Stählen	240
6. Einfluß von Herstellung und Betrieb auf die Festigkeit	240
a) Das Altern	241
b) Gefügebeeinflussung	241
c) Blaubrüchigkeit	241
d) Anlaßsprödigkeit	241
e) Korrodieren und Verzundern	242
f) Laugensprödigkeit	243
7. Wahl eines Stahles	243
a) Kessel, Überhitzer, Ekonomiser und Luftvorwärmer	246
b) Rohrleitungen und Armaturen	247
8. Stahlgruppen und Gütestufen	249
9. Ergänzende Maßnahmen	249
B. Verarbeitung von Stählen	249
1. Herstellung von Kesseltrommeln	249
2. Schweißen von Rohren	251
3. Einwalzen von Rohren	251
4. Die Sicherheit von Trommel- und Rohrwandungen	253
C. Feuerfeste Baustoffe	253
1. Herstellung und Eigenschaften feuerfester Steine	255
2. Wärmeleitvermögen und Luftdurchlässigkeit	257
3. Die Brennstoffaschen	257
a) Allgemeines	257
b) Zusammensetzung von Brennstoffaschen	261
4. Verschmutzen der Einmauerung und Heizfläche	261
a) Verschmutzung von Heizflächen	263
b) Die Rolle der Sulfide	265
c) Einfluß der Feuerungsart auf die Veraschung	265
d) Schlacke in teigigem und flüssigem Zustand	266
5. Zerstörung der Einmauerung durch Asche	268
6. Aufbereitung von Kohle nach Lessing	268

	Seite
VII. Der Wasserumlauf	269
1. Ursache und Zweck des natürlichen Wasserumlaufes	269
2. Theorien über den natürlichen Wasserumlauf	269
3. Tatsächlicher natürlicher Wasserumlauf in Steilrohrkesseln	276
4. Tatsächlicher natürlicher Wasserumlauf in Schrägrohrkesseln	280
5. Natürlicher Wasserumlauf in Kühlrosten	281
6. Fall-, Steig- und Kurzschlußrohre von Kühlflächen mit natürlichem Wasserumlauf	281
a) Allgemeines	281
b) Natürlicher Wasserumlauf in Kurzschlußrohren	282
7. Störungen des natürlichen Wasserumlaufes	283
a) Allgemeines	283
b) Berechnung des Wasserumlaufes in Kühlsystemen	284
c) „Umkippen“ des Wasserumlaufes	289
d) Stark ungleichmäßig beheizte Steigrohre	290
e) Hauptursachen von Rohrdurchbrennern	290
8. Natürlicher Wasserumlauf in Kesseln mit mehreren Obertrommeln	294
9. Mitreißen von Wasser mit dem Dampf bei Naturumlaufkesseln	297
a) Ursachen und Abhilfe	297
b) Die Rolle von Laugen und von Salzen	300
10. Eigentümlichkeiten des Zwangdurchlaufs	301
11. Anschluß der Zu- und Abströmrohre an engräumige Sammler	305
VIII. Das Verhalten von Feuerungen	307
A. Einführung	307
B. Roste für Steinkohle	307
1. Allgemeines	307
2. Wanderroste	308
3. Unterschubroste	311
4. Rückschubroste	313
5. Steinmüller-L-Rost	314
C. Roste für Braunkohle	315
1. Allgemeines	315
2. Mechanische Braunkohlenroste	316
D. Torffeuerungen	319
1. Einführung	319
2. Rostfeuerungen	320
3. Staubfeuerungen	320
E. Kohlenstaubfeuerungen	321
1. Kohlenstaubmühlen	321
a) Grundsätzliches	321
b) Trommelmühlen	324
c) Schüsselmühlen	324
d) Schlägermühlen	325
e) Prallmühlen	326
2. Kraftbedarf von Mühlen	326
3. Zentralmahlanlagen	327
4. Halbzentrale Mahlanlagen	330
5. Kohlenstaubfeuerungen	331
a) Brenner	331
b) Feuerräume	332
c) Schmelzkammerfeuerungen	334
d) Zyklonfeuerungen	337
F. Elastizität von Feuerungen	338
G. Mechanische Roste oder Staubfeuerungen	341
H. Einmauerungen	343
I. Betriebskosten von Feuerungen	345
1. Allgemeines	345
2. Mechanische Roste	345
a) Steinkohle	345
b) Braunkohle	345
3. Kohlenstaubmühlen	345

K. Verbrennung oder Vergasung	346
1. Grundsätzliches	346
2. Durchführung der Vergasung	347
IX. Der Aufbau von Wasserrohrkesseln	349
A. Kessel mit natürlichem Wasserumlauf	349
1. Einleitung	349
2. Klassifikation von Kesseln	350
3. Der Kesselkörper	353
4. ND- und MD-Kessel	355
a) Allgemeines	355
b) Steilrohrkessel	358
c) Schrägrohrkessel	359
d) Anschluß der Kühlflächen	363
5. HD-Kessel	364
6. HstD-Kessel	371
7. Rückblick	373
B. Zwanglaufkessel	373
1. Einleitung	373
2. Konstruktionsdaten von Zwanglaufkesseln	375
3. Zwangumlaufkessel	377
a) La Mont-Kessel	377
b) Löffler-Kessel	378
4. Zwangdurchlaufkessel	379
a) Allgemeines	379
b) SSW-Kessel	380
c) Sulzer-Kessel	384
d) Ramsin-Kessel	385
C. Sonderkessel	387
1. Allgemeines	387
2. Kessel mit normalen Feuerungen	387
3. Kessel mit aufgeladenen Feuerungen	389
a) Allgemeines	389
b) Das Arbeitsverfahren von Velox-Kesseln	389
c) Verhalten von Velox-Kesseln	391
d) Anwendungsgebiete von Velox-Kesseln	392
4. Schnellkessel	393
D. Speicherefähigkeit von Dampfkesseln	394
1. Spezifischer Wasserinhalt	394
2. Regelspeicher	397
E. Frischdampfüberhitzer und Zwischenüberhitzer	399
1. Berechnung des Druckverlustes des Dampfes	399
2. Berechnung der Rohrwandtemperatur	401
3. Dampf- und rauchgasseitige Schaltung	402
4. Strahlungsüberhitzer	406
5. Hängende oder liegende Überhitzer	406
6. Anfahren von Überhitzern	407
7. Zwischenüberhitzer	407
a) Ausführung	407
b) Anlagekosten und Wärmeersparnis	408
F. Ekonomiser	409
1. Allgemeines	409
2. Gußeisenekonomiser	410
3. Stahlekonomiser	411
G. Luftvorwärmer	412
1. Allgemeines	412
2. Feststehende Luftvorwärmer	413
3. Rotierende (Ljungström-) Luftvorwärmer	414
4. Gesamtbeurteilung	414

	Seite
H. Aufhängung von Heizflächen und Kesselgerüst	415
1. Allgemeines	415
2. Ungekühlte Halterungen	418
3. Gekühlte Halterungen	420
4. Das Kesselgerüst	420
I. Die Normung von Dampfkesseln	421
1. Gründe für die Normung	421
2. Einheitskessel	422
3. Kritischer Vergleich amerikanischer und deutscher Dampfkessel	423
K. Emmet-Zweistoffanlagen (Hg-H ₂ O-Anlagen)	425
1. Quecksilberdampfkessel	425
2. Aussichten von Hg-H ₂ O-Anlagen	428
L. Lufterhitzer für Luftturbinen	429
1. Theoretische Grundlagen	429
2. Konstruktive Gesichtspunkte	431
3. Grundsätzliche Aussichten von Gasturbinen	433
X. Verhalten von Kesseln im Betriebe	433
1. Art und Häufigkeit von Kesselschäden	433
2. Einlaufzeit von Kraftwerken	437
XI. Kosten von Kraftmaschinen und Kraftwerken	438
A. Kosten von Wasserrohrkesseln	438
1. Grundsätzliches	438
2. Durchführung der Kosten- und Gewichtsermittlung	439
3. Wärmetechnische Einflüsse auf den Kesselpreis	440
a) Luft- und Speisewasservorwärmung (Kessel I)	440
b) Abgastemperatur bzw. Kesselwirkungsgrad (Kessel II)	441
c) Spezifische Rostbelastung bei veränderlicher Abgastemperatur (Kessel III)	442
d) Spezifische Rostbelastung bei konstanter Abgastemperatur (Kessel IV)	442
e) Dampfdruck (Kessel V)	443
f) Stündliche Dampferzeugung (Kessel VI)	444
4. Leistungsgewichte von Dampfkesseln	445
a) Einfluß von Kesselgröße und Kesseldruck	445
5. Kosten von Dampfkesseln	446
a) Kosten der Bauelemente	446
b) Einfluß von Kesselgröße und Kesseldruck	446
c) Einfluß des Kesselsystemes	448
d) Historische Entwicklung der Kesselpreise	449
B. Kosten von Dampfturbinen	449
1. Gewicht von Dampfturbinen	449
2. Kosten von Dampfturbinen	451
C. Aufbau und Kosten ganzer Kesselanlagen	451
1. Einleitung	451
2. Entwicklung in Deutschland von 1900—1945	452
3. Ausländische Kesselanlagen	459
a) Amerika	459
b) Norwegen	460
c) England	460
d) Frankreich	461
4. Konstruktion der Kesselhäuser	462
a) Baulicher Teil	462
b) Belüftung	465
5. Kosten von Kesselanlagen	466
6. Folgerungen für den Bau von Kesselanlagen	469

XII. Zusammenbau von Kesselhaus und übrigem Kraftwerk	471
1. Grundsätzliches	471
2. Kosten ganzer Kraftwerke	473
a) Einfluß der Kraftwerksgröße	473
b) Einfluß des Kesseldruckes	474
3. Kraftwerke mit überkritischem Druck	475
4. Kostenanalyse von Kraftwerken	475
XIII. Spitzenkraftwerke	477
1. Belastungsverlauf in Elektrizitätswerken	477
2. Eigenkraftbedarf	478
3. Kessel für Spitzenwerke	479
XIV. Wichtiges Kesselzubehör	483
A. Rauchgasreiniger	483
1. Der Schornsteinauswurf	483
2. Der Abscheidegrad von Entstaubern	484
3. Die verschiedenen Entstaubersysteme	485
a) Naßentstauber	485
b) Zyklonentstauber	485
c) Elektrofilter	486
B. Ventilatoren	486
C. Aschen- und Schlackenabfuhr	488
1. Grundsätzliches	488
2. Einzelheiten über die Fördermittel	489
a) Mechanische Vorrichtungen	489
b) Hydraulische Vorrichtungen	490
c) Luftförderanlagen	491
b) Anlage- und Betriebskosten	491
D. Selbsttätige Kesselregelung	492
1. Grundsätzliches	492
2. Meß- und Regelapparate	493
E. Speisewasseraufbereitung	494
1. Einleitung	494
2. Anforderungen an das Speisewasser	495
XV. Rohrleitungen und Armaturen	496
1. Rohrleitungen	496
a) Grundsätzliches	496
b) Einzelheiten	497
2. Armaturen	498
XVI. Wärme- und Rohrleitungsschaltbilder	500
1. Allgemeines	500
2. Schaltung von Zwischenüberhitzern	500
3. Schaltung von Zusatzwasseranlagen	500
a) Grundsätzliches	500
b) Einzelheiten	504
4. Wärmeschaltbilder	505
a) Kondensationskraftwerke	505
b) Industriekraftwerke	506
5. Block- und Sammelschienenenschaltung	508

	Seite
XVII. Energieerzeugung und -verteilung	509
A. Spitzendeckung durch Speicher und Dieselmotoren	509
1. Allgemeines	509
2. Thermische Speicher	509
3. Pumpspeicher	512
4. Elektrische Akkumulatoren	513
5. Dieselmotoren	513
6. Anlage- und Kapitalkosten	513
B. Steinkohle und Braunkohle in der öffentlichen Elektrizitätsversorgung Deutschlands	515
1. Einleitung	515
2. Wirtschaftlichste Kombination von Grundlast- und Spitzenwerken	515
XVIII. Zu neuen Ufern	519
A. Die Erschöpfung der natürlichen Brennstoffvorkommen	519
B. Arbeitsweise und Aussichten von Atomkraftwerken	519
1. Einleitung	519
2. Grundlagen der Atomspaltung	520
3. Vorkommen und Abbauwürdigkeit von Uran	524
4. Vorgänge bei der Uranspaltung	524
C. Das Atomkraftwerk	525
1. Primärbatterien	525
2. Sekundärbatterien	528
3. Übriges Atomkraftwerk	528
4. Schutzvorrichtungen gegen radioaktive Strahlen	529
D. Wirtschaftliche Aussichten von Atomkraftwerken	529
E. Gesichtspunkte für den Bau von Atombatterien samt Dampferzeugern	534
Anhang: Umrechnungstabelle von amerikanischen (englischen) in deutsche Maße und umgekehrt	538
Namenverzeichnis	539
Sachverzeichnis	540

Hinweis für den Leser.

Um Mißverständnisse und Irrtümer zu vermeiden, verwendet vorliegendes Buch durchweg folgende Bezeichnungen:

Vorwärmer für Apparate zum Erhitzen von Wasser, Dämpfen oder Gasen durch andere Wärmeträger als Rauchgase, also vor allem Anzapfdampf- und Mischvorwärmer für Speisewasser, Brüden-, Dampfstrahl- und Stopfbuchsendampf-Kondensatoren, Kondensat-, Laugen- und Luftkühler, Seite 501.

Ekonomiser für Apparate zum Erhitzen des Speisewassers durch Rauchgase, gleichgültig ob sie aus Stahl oder aus Gußeisen, aus glatten oder aus Rippenrohren bestehen oder ob das Wasser teilweise verdampft oder nicht.

Luftvorwärmer für Apparate zum Erhitzen der Verbrennungsluft durch Rauchgase, gleichgültig ob es sich um feststehende Platten-, Taschen- oder Röhrenluftvorwärmer oder um rotierende Ljungströmvorwärmer handelt.

Lufterhitzer für Apparate zum Erhitzen des Arbeitsmittels (Luft oder andere Gase) von geschlossenen oder aerodynamischen Gasturbinen (Luftturbinen) durch Rauchgase. Ein vollständig betriebsfertiger Lufterhitzer besteht also im allgemeinen aus dem eigentlichen Lufterhitzer und einem ihm nachgeschalteten Luftvorwärmer, in dem die für die Feuerung des Lufterhitzers erforderliche Verbrennungsluft durch die Abgase des Lufterhitzers erhitzt wird.

Aus der 2. Auflage unverändert übernommene Kurventafeln sind durch eine Ordnungsnummer ohne Zusatz gekennzeichnet, z. B. Tafel 7, 12 bis 15. In der 2. Auflage zwar enthaltene, aber durch Berücksichtigung neuerer Werte verbesserte Tafeln haben hinter ihrer Ordnungsnummer ein a, z. B. Tafel 1a, 2a, 3a usw. In dieser Auflage ganz neu hinzugekommene Tafeln haben eine Ordnungsnummer mit einem darauf folgenden b, z. B. Tafel 4b, 16b, 17b usw.