

# **Handbuch der Feuerungstechnik und des Dampfkesselbetriebes**

mit einem Anhang über allgemeine  
Wärmetechnik

Von

**Dr.-Ing. Georg Herberg**

Beratender Ingenieur, Stuttgart

Mit 54 Abbildungen und Diagrammen, 87 Tabellen,  
sowie 43 Rechnungsbeispielen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH  
1913

ISBN 978-3-662-23552-2      ISBN 978-3-662-25629-9 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-25629-9

## Vorwort.

Verfasser, der lange Jahre auf dem Gebiete des Kesselhausbetriebes und der Feuerungstechnik praktisch und theoretisch tätig ist und vielfach die Lücken der bisherigen Literatur empfunden hat, beabsichtigt, mit diesem Handbuche eine zugleich einfache und doch möglichst vollständige Darstellung dieses Fachgebietes und seiner Arbeitsweise zu geben. Er will damit beweisen, daß dieser Zweig der Technik, der erst eigentlich in dem letzten Jahrzehnte beachtet worden ist, es wohl versteht, die Forschungen und Ergebnisse der Wissenschaft sich zu eignen zu machen, damit zu arbeiten und auch selbst zu forschen, entsprechend seinen eigenen Bedürfnissen. Es soll allen denen ein Dienst erwiesen werden, welche dieses Fachgebiet studieren und die beruflich in die Lage kommen, Berechnungen von Dampfanlagen anstellen zu müssen, solche anzulegen und zu bauen oder den Betrieb von Kesselhausanlagen zu überwachen. Der wissenschaftliche Teil führt alle die Feuerungstechnik betreffenden Rechnungen aus unter Berücksichtigung der neuesten Versuchsergebnisse, die sich in den verschiedensten Zeitschriften zerstreut finden, wie die Fragen nach den Verbrennungsvorgängen, dem Luftbedarfe der Kohlen, der Verbrennungsgasmenge, dem Höchstkohlensäuregehalte, den Kesselverlusten usw. Angeschlossen sind besondere Teile über wärmewirtschaftliche Einrichtungen, Rohrleitungen, das noch wenig bekannte Gebiet über den Einfluß des Kesselstein- und Ölbelages der Heizflächen auf den Wärmedurchgang und die Festigkeit der Bleche sowie einige Winke für Messungen.

Dabei sind aber nicht nur die einfachen Formeln, sowie übersichtliche und genaue Rechenmethoden nebst Fehlergrenzen gegeben, und bleibt es dann jedem einzelnen überlassen, deren Anwendung zu finden und sich durch ein Gemenge von Zahlen und

Formeln hindurchzufinden, sondern es wird besondere Sorgfalt verwendet auf eine klare und übersichtliche Darstellung der Zusammenhänge der verschiedenen Größen und Vorgänge. Die gegebenen Formeln und Verhältniszahlen usw. gewinnen erst das rechte Leben, wenn man sie angewendet sieht, wenn man eine Reihe von notwendig aufeinander folgenden Vorgängen beobachtet, einzelne Prozesse loslöst und Beispiele typischer Art vor sich sieht, so daß man gewissermaßen die Vorgänge miterlebt. Deshalb sind außer vielen Zahlentafeln sehr viele Diagramme eingefügt, die teils die Rechnung ersetzen, teils viel klarere Übersichten bieten als einfache Zahlenreihen, weil man auf einen Blick bei Änderung einer Größe die Wirkung auf eine andere Größe übersieht, und weil sich solche Schaubilder leicht dem Gedächtnisse einprägen. Deshalb werden, soweit es nützlich und angängig erschien, die gegebenen Beziehungen sofort an Hand von Beispielen, die alle aus wirklichen Betriebsverhältnissen und eigenen Messungen entnommen sind, ausgewertet und vielfach Beispiele gebracht, die solche Vorgänge berühren, die sonst in der Literatur seltener eingehend dargestellt sich finden. An anderen Stellen werden nicht nur Betriebsmittelwerte aufgeführt, sondern besondere Versuchsreihen in bestimmter Gruppierung, welche die wechselnden Verhältnisse klarlegen. Überhaupt ist versucht worden, alles, auf reiches Versuchsmaterial gestützt, recht anschaulich darzustellen, weshalb an gegebener Stelle auch vor kleinen Wiederholungen nicht zurückgescheut wurde. Viele Hinweise im Texte auf entsprechende andere Stellen und reichliche Literaturangaben bieten weitere Bequemlichkeiten und Anregung zu eingehendem eigenem Studium.

Besonderer Wert ist auf eine genügende Beachtung der wirtschaftlichen Verhältnisse gelegt; diese Betrachtungsweise zieht sich durch das ganze Buch hindurch als Ergänzung der rein technischen Seite. Denn der Ingenieur darf nicht allein Konstrukteur sein, sondern seine Arbeiten soll ein echter kaufmännischer Geist durchwehen, der den wirtschaftlichen Wert der Stoffe und des Geldes richtig abschätzt gegenüber den rein technischen Möglichkeiten. Gerade die Feuerungstechnik, welche den kostbaren, in seiner Menge begrenzten Brennstoff, die Kohle, verwendet, ist verpflichtet, mit diesem Schatze so sparsam wie möglich umzugehen, bis die fortschreitende Technik neue Kraftquellen erschlossen hat. Es sei hier noch auf die neuen grundlegenden

Forschungen von Prof. Bone<sup>1)</sup>, England, und Dr. R. Schnabel über flammenlose Feuerungen hingewiesen, die bestimmt scheinen, ganz neue Wege für die Feuerungstechnik zu erschließen.

Zum Schlusse sei noch der Firma J. A. Topf & Söhne in Erfurt für die vielfachen Anregungen und die überlassenen Abbildungen 1, 2, 5, 24—27, 29, 30; der Fa. Jaques-Piedboeuf, Düsseldorf für Abb. 19—22. 30, 31; der Fa. Fränkel und Viebahn, Leipzig für Abb. 3 und 4; der Fa. Moritz Jahr, Gera für Abb. 23; und den Deutschen Economiser-Werken, Düsseldorf für Abb. 33 und 34 der gebührende Dank gesagt.

Halle a. d. S., im Januar 1913.

Doktor-Ingenieur **Georg Herberg.**

---

<sup>1)</sup> Die Feuerungstechnik, 1912. S. 39.

# Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort

<b>I. Die Kesselhausanlagen</b> . . . . .	<b>1</b>
1. Die Einrichtung von Kesselhäusern . . . . .	1
a) Grundsätze für die Einrichtung . . . . .	1
b) Dampfpreis . . . . .	2
c) Kohlenförderung und -lagerung . . . . .	4
d) Aschen- und Schlackenentfernung . . . . .	11
e) Ästhetische Rücksichten . . . . .	15
2. Die Brennstoffe . . . . .	16
a) Vorkommen und Eigenschaften sowie Kohlenförderung der Erde . . . . .	16
b) Verbrennung auf der Feuerung . . . . .	20
c) Zusammensetzung der Brennstoffe . . . . .	25
3. Allgemeiner gas- und wärmetechnischer Teil . . . . .	31
a) Zustandsgleichungen für vollkommene Gase . . . . .	31
b) Die Verbrennungsgleichungen . . . . .	34
c) Anwendung auf die verschiedenen Brennstoffe . . . . .	36
d) Die spezifische Wärme der Verbrennungsgase . . . . .	38
e) Das spezifische Gewicht der Verbrennungsgase . . . . .	46
f) Gewicht, Dichtigkeit und Wassergehalt der Luft . . . . .	48
g) Feste und flüssige Körper . . . . .	52
4. Die Verbrennungsluftmenge . . . . .	57
a) Berechnet aus der Zusammensetzung des Brennstoffes bei vollkommener Verbrennung (ohne Luftüberschuß) . . . . .	57
b) Berechnet aus der Gasanalyse mit Luftüberschuß, auch bei unvollkommener Verbrennung . . . . .	59
5. Die Verbrennungsgasmenge in ehm und kg . . . . .	61
a) Vollkommene Verbrennung . . . . .	61
b) Unvollkommene Verbrennung . . . . .	64
c) Näherungsweise Berechnung des trockenen Gasvolumens und Gasgewichtes aus dem Heizwerte der Kohlen . . . . .	66
6. Der Luftüberschuß . . . . .	69
a) Vollkommene Verbrennung . . . . .	69
b) Unvollkommene Verbrennung . . . . .	72

	Seit
7. Der Höchstgehalt der Verbrennungsgase an Kohlen- säure (+ schwefl. Säure) = (ks)m und die Bestimmung von CO	73
a) Allgemeines	73
b) (ks)m berechnet aus der Zusammensetzung des Brenn- stoffes	75
c) (ks)m berechnet aus der Zusammensetzung der Rauchgase in Vol.-%	79
d) Die Ermittlung von CO aus (ks)m	80
8. Die Verbrennungstemperatur	83
9. Die Wärmeverluste im Kesselbetriebe	85
a) Abgasverlust durch fühlbare Wärme der Rauchgase bei voll- kommener Verbrennung (ohne CO-Bildung)	87
b) Abgasverluste durch fühlbare Wärme der Rauchgase bei unvollkommener Verbrennung	90
c) Der Verlust durch unverbrannte Gase	93
Genauigkeitsgrenzen der Formeln	97
d) Verlust durch Aschenrückstände und Schlacke	99
e) Wärmeverlust durch Ruß in den Verbrennungsgasen	100
f) Verlust durch Strahlung und Leitung	101
g) Der Wirkungsgrad	107
h) Der Zusammenhang zwischen dem CO <sub>2</sub> -Gehalt der Ver- brennungsgase, ihrer Temperatur, dem Wirkungsgrade und dem Abgasverluste	111
10. Die Zugmessung	114
11. Berechnung der Röstfläche	116
a) Rostbeanspruchung	116
b) Verdampfungsziffer der Brennstoffe	119
12. Berechnung der Kesselheizfläche	122
a) Kesselbeanspruchung	122
b) Abgastemperatur und Kesselbeanspruchung	123
13. Beanspruchung einzelner Teile der Kesselheiz- fläche und Ziele des neueren Kesselbaues	125
a) Wärmeverteilung auf einzelne Heizflächenteile	125
Bei Flammrohrkesseln	125
Bei stehenden Wasserrohrkesseln	128
b) Der Wasserumlauf	130
c) Die Dampfnässe und Mittel zur Verringerung	131
d) Preise der Kesselheizflächen	137
e) Rauchgasvorwärmer in Verbindung mit Kesseln	138
14. Die Einmauerung der Kessel und die Einmauerungs- garnituren	142
a) Größe der Feuerzüge	142
b) Ausführung der Einmauerung	144
Schamotte-material	145
Isolierschichten	146
Verankerung	147
c) Armaturen und Ausstattung	149

	Seite
15. Der Schornstein . . . . .	150
a) Allgemeines . . . . .	150
b) Berechnung der Zugstärke und der Schornsteinhöhe . . . . .	156
c) Berechnung der Schornsteinweite . . . . .	164
d) Erfahrungsformeln und Erfahrungswerte . . . . .	166
<b>II. Wärmewirtschaftliche Einrichtungen</b>	
16. Der Dampfüberhitzer . . . . .	174
a) Der überhitzte Dampf . . . . .	174
Volumen . . . . .	174
Spezifische Wärme . . . . .	176
b) Berechnung der Heizfläche . . . . .	178
c) Ersparnis durch Einbau des Überhitzers . . . . .	185
d) Ausführung und Anordnung . . . . .	191
17. Der Rauchgasvorwärmer (Economiser) . . . . .	196
a) Anordnung . . . . .	196
b) Berechnung der Heizfläche . . . . .	200
c) Ersparnis durch den Rauchgasvorwärmer . . . . .	206
18. Abgasbeheizte Kessel . . . . .	208
19. Abdampfvorwärmer . . . . .	211
a) Röhrenapparate . . . . .	211
b) Beheizte Behälter . . . . .	216
20. Kondensatrückgewinn . . . . .	218
21. Dampfentölung . . . . .	219
<b>III. Allgemeine Wärmetechnik</b>	
22. Wärmeübergang und Durchgang infolge Berührung und Leitung . . . . .	221
a) Wärmeübergangszahl . . . . .	222
b) Wärmedurchgangszahl $k$ . . . . .	224
c) Wärmedurchgang durch nackte und umhüllte Rohre . . . . .	227
d) Der mittlere Temperaturunterschied $\vartheta_m$ . . . . .	228
23. Wärmeabgab (durch Strahlung und gleichzeitig durch Berührung . . . . .	231
<b>IV. Rohrleitungen.</b>	
24. Wärmeabgabe geheizter nackter Rohre an Luft (nach Wamsler) . . . . .	234
25. Abkühlungsverlust (durch Berührung und Strahlung) beim Strömen von gesättigtem und überhitztem Dampfe durch nackte und isolierte Leitungen . . . . .	236
a) Gesättigter Dampf . . . . .	236
1. Nackte Rohre . . . . .	236
2. Isolierte Rohre . . . . .	239
b) Überhitzter Dampf . . . . .	248
1. Allgemeines . . . . .	248
2. Wärmeverluste bei nackter Leitung . . . . .	249
3. Wärmeverluste bei isolierten Rohren . . . . .	251
Beispiele . . . . .	255



	Seite
26. Berechnung von Dampfleitungen . . . . .	259
27. Druckverlust beim Strömen von Dampf durch Rohrleitungen . . . . .	261
28. Druckverlust beim Strömen von Luft durch Rohr- leitungen . . . . .	263

#### V. Unreine Heizflächen.

29. Einfluß des Kesselsteinbelages der Heizflächen auf den Wärmedurchgang . . . . .	265
a) Einfluß des Kesselsteines auf den Durchgangskoeffizienten $k$ bei Heizung durch Gasberührung . . . . .	265
b) Einfluß des Kesselsteines auf den Durchgangskoeffizienten $k$ , wenn mit Sattdampf oder heißem Wasser geheizt wird . . . . .	267
c) Einfluß des Kesselsteines auf die Durchgangszahl $k$ bei Wärmeübertragung durch Berührung, Leitung und Strahlung bei Beheizung von Wasser durch Gas . . . . .	268
d) Einfluß des Kesselsteines auf die Wärmeausnutzung in Heizvorrichtungen, Wärmedurchgang nur durch Berührung . . . . .	269
e) Einfluß des Kesselsteines auf die Wärmeausnutzung in Heizvorrichtungen bei Wärmeübertragung durch Be- rührung und Strahlung . . . . .	274
f) Strahlungsübertragung nur am ersten Teile der Kessel- heizfläche wirksam, am anderen Teile nur Berührungs- übertragung . . . . .	276
30. Erhöhung der Kesselblechtemperaturen durch Kesselsteinbelag und Ölschichtenso wie dadurch be- dingte Abnahme der Blechfestigkeit . . . . .	278

#### VI. Betriebsüberwachung.

31. Winke für die Vornahme von Messungen . . . . .	281
a) Messung des Niederschlagwassers . . . . .	281
b) Messung der Dampftemperaturen . . . . .	282
c) Messung der Oberflächentemperaturen . . . . .	284
d) Messung der Gastemperaturen . . . . .	284
e) Zugmessung . . . . .	286
f) Gasanalysen . . . . .	287
g) Die Entnahme der Köhlenprobe . . . . .	289
h) Über die Verwertung der Meßergebnisse . . . . .	290
32. Die Überwachung des Betriebes . . . . .	292
33. Kesselhausbetriebs-Unkosten-Aufstellung . . . . .	302