

DER INDUSTRIEOFEN IN EINZELDARSTELLUNGEN

HERAUSGEBER:

OB.-ING. L. LITINSKY
LEIPZIG

BAND V:

REGENERATOREN
REKUPERATOREN, WINDERHITZER
DIE WÄRMERÜCKGEWINNUNG
IN INDUSTRIELLEN OFENANLAGEN

VON

DR.-ING. WERNER HEILIGENSTAEDT



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH
1931

REGENERATOREN REKUPERATOREN, WINDERHITZER

DIE WÄRMERÜCKGEWINNUNG
IN INDUSTRIELLEN OFENANLAGEN

VON

DR.-ING. WERNER HEILIGENSTAEDT

MIT 163 FIGUREN IM TEXT



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

1931

ISBN 978-3-662-33471-3 ISBN 978-3-662-33869-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-33869-8

Copyright 1931 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Otto Spamer, Leipzig 1931.
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1931

Vorwort des Herausgebers.

Über Zweck und Ziel der Bücherreihe „Der Industrieofen in Einzeldarstellungen“ unterrichtet ausführlich mein Vorwort, welches in den bis jetzt erschienenen Bänden dieser Sammlung wiederholt aufgenommen wurde. Danach ist geplant, über einzelne industrielle Öfen, je nach ihren Verwendungsbereichen sowie über die mit industriellen Ofenanlagen verbundenen Teilgebiete einzelne Monographien zu veröffentlichen. Trotz der Schwere der Zeit ist es dem Verlag gelungen, bis jetzt die folgenden Einzelbände der begonnenen Sammlung herauszubringen:

1. *H. von Jüptner*. Wärmetechnische Grundlagen der Industrieöfen.
2. *E. Cotel*. Der Siemens-Martin-Ofen.
3. *M. Pavloff*. Abmessungen von Hoch- und Martinöfen.
4. *B. Larsen* und Mitarbeiter. Feuerfeste Baustoffe in Siemens-Martin-Öfen.

Als 5. Band, dem weitere Bände folgen werden, erscheint das vorliegende groß angelegte Werk von Dr.-Ing. *W. Heiligenstaedt* über „Regeneratoren, Rekuperatoren und Winderhitzer“.

Ich hoffe durch die Herausgabe der Sammlung „Der Industrieofen in Einzeldarstellungen“ einem wirklichen Bedürfnis entsprochen zu haben und bitte die Herren Fachgenossen mich durch Verbesserungswünsche und weitere Anregung zu unterstützen.

L. Litinsky.

Vorwort.

Der vorliegende Band der Bücherfolge „Der Industrieofen“ behandelt die Wärmerückgewinnung in industriellen Feuerungen, d. h. die Verwertung der Abhitze des Arbeitsraumes der Öfen für die Zwecke des Ofens selbst, nicht aber diejenige Verwertung, die man als Abhitzeverwertung bezeichnet, und die durch Abhitzekessel und ähnliche Einrichtungen bewirkt wird. Der Verfasser hat sich dabei bemüht, die Untersuchung und Lösung der durch das Thema gestellten Fragen auf den physikalischen Grundlagen aufzubauen. Nur auf diesem Wege erscheint es ihm möglich, die Vielheit der Erfahrungswerte sowohl zusammenzufassen als auch zu verallgemeinern. Die Bezugnahme auf die physikalischen Grundgesetze der Vorgänge ist im Ofenbau bisher nicht in so weitem Umfange wie auf vielen anderen Gebieten der Technik üblich gewesen. Deshalb mag vielleicht zunächst die ausschließliche

Anwendung dieser Betrachtungsweise die Bedenken erregen, die in dem so oft zitierten Gegensatz von Theorie und Praxis ihren Ausdruck finden. Dieser Gegensatz wird sich freilich immer dann, aber auch nur dann einstellen, wenn folgerichtig aufgestellte Theorien irrtümlich, unvollständig oder zu weitgehend angewendet werden. Auch zur richtigen Anwendung der Theorie gehört die praktische Erfahrung, die den Komplex der Vorgänge überblicken und entwirren kann. Gerade in der Hand des praktisch Erfahrenen wird aber die theoretische Betrachtungsweise zu einem für die Weiterentwicklung ungemein wertvollen Hilfsmittel. Da in der vorliegenden Schrift ein Sondergebiet des Ofenbaues und gleichzeitig ein einzelner Ofenteil für sich behandelt wird, war es an sich schon notwendig, diese Betrachtungsweise zu wählen. Es hätte sich sonst die Notwendigkeit ergeben, die verschiedenartigen Ofensysteme und Ofenkonstruktionen einzeln zu untersuchen und zu beschreiben, ein Vorhaben, das naturgemäß nur unvollständig und unvollkommen hätte ausgeführt werden können.

Es erschien notwendig, die Ableitungen der Gedankengänge möglichst vollständig wiederzugeben, um irrtümliche Anwendungen zu verhindern. Ihre Anwendung ist aber dadurch erleichtert worden, daß die Endergebnisse durchweg in Zahlentafeln oder Diagrammen ausgewertet sind, so daß die Rechenarbeit auf ein Mindestmaß zurückgeführt ist. Den Beispielen ist möglichst viel Raum gegeben worden, wobei nicht nur bezweckt wurde, Rechenbeispiele zu geben. Vielmehr ist eine Reihe prinzipieller Fragen in der Form von Ausführungsbeispielen behandelt worden, um ihre Beantwortung lebendiger und sinnfälliger gestalten zu können.

Die Bearbeitung des Buches erstreckte sich über eine Reihe von Jahren. Trotzdem hat der Verfasser dank dem Entgegenkommen des Verlages diejenigen wichtigen Forschungsarbeiten des Gebietes bis zum Erscheinen noch berücksichtigen können, die zur Vervollkommnung der Betrachtungen dienen konnten.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Der Einfluß der Wärmerückgewinnung auf Ofenbetrieb und Ofenkonstruktion	1
II. Die Wirkung des Wärmerückgewinnes auf den Brennstoffverbrauch	9
III. Brennstoffart und Wärmerückgewinnung	17
1. Die Grundlagen der Berechnung des Verbrennungsvorganges.	17
2. Die festen Brennstoffe	19
3. Die Halbgasfeuerung.	20
4. Die gasförmigen Brennstoffe	24
5. Flüssige Brennstoffe	34
6. Mischgase.	35
7. Übersicht über die Brennstoffe	36
8. Die Berücksichtigung des Luftüberschusses	38
9. Die Berücksichtigung des Luftmangels	42
IV. Der Einfluß der Vorwärmung auf die Verbrennungstemperatur	45
1. Allgemeine Betrachtungen	45
2. Berechnung der calorimetrischen Temperatur	46
3. Die Verbrennungstemperatur mit Berücksichtigung der Dissoziation	48
4. Die Berechnung der wirklichen Verbrennungstemperatur	54
5. Die höchste Rauchgastemperatur	57
6. Der örtliche Temperaturverlauf und der Ort der höchsten Rauchgastemperatur	65
7. Der Einfluß von Gaszusammensetzung, Ofen- und Gastemperatur auf die Entzündungsgeschwindigkeit	77
V. Die Größe der Abhitze des Arbeitsraumes des Ofens.	81
1. Hochöfen	81
2. Kuppelöfen	83
3. Gießereiflammöfen	84
4. Siemens-Martin-Öfen	87
5. Tieföfen	90
6. Stoßöfen	90
7. Schmiedeöfen	96
8. Glühöfen	98
9. Glaswannenöfen	99
10. Koksöfen	101
11. Dampfkessel	103
VI. Der Wärmeübergang	104
1. Allgemeine Betrachtung über den Wärmeübergang	104
2. Die Wärmeübergangszahl im Gebiet laminarer Strömung	111
3. Die Wärmeübergangszahl im Gebiet turbulenter Strömung	113
4. Wärmeübergang an Rohrbündel	118
5. Wärmeübertragung durch Gasstrahlung	120
6. Wärmeübertragung durch Berührung und Strahlung	124

	Seite
VII. Die Berechnung des Wärmeaustausches	126
1. Der Wärmeaustausch in Rekuperatoren und Regeneratoren	126
2. Wärmeaustausch im Gleichstrom	128
3. Wärmeaustausch im Gegenstrom	131
4. Vereinfachung der Gleichungen für Gleich- und Gegenstrom	132
5. Bestimmung des Temperaturfeldes in Wärmeaustauschern	135
VIII. Die Wärmedurchgangszahl k für Rekuperatoren	138
IX. Die Wärmeaustauschzahl für Regeneratoren	141
1. Einführung	141
2. Das Prinzip des Rechnungsganges	142
3. Wärmefluß und Temperaturverlauf in einer beiderseits beheizten Gitterwand	144
4. Berechnung der Wärmeaustauschzahl ε und der Temperaturabfallzahl b	153
5. Zahlentafeln für ε und b	159
6. Der Einfluß der einzelnen Faktoren auf die Wärmeaustauschzahl ε und Temperaturabfallzahl b	165
7. Verfahren zur genauen Bestimmung des Temperaturabfalles der Heizfläche und der Wärmeaustauschzahl bei beliebigem Verlauf der Gastemperatur und zur genauen Bestimmung des Abfalles der Gastemperaturen	169
8. Berechnung der Wärmeaustauschzahl und des Temperaturabfalles der Heizfläche nach dem Verfahren von <i>K. Rummel</i>	173
X. Zusammenstellung der Formeln für die Berechnung der Wärmeaustauscher	180
1. Rekuperatoren	180
2. Regeneratoren	181
XI. Anwendung der Rekuperatorberechnung	183
1. Berechnung eines steinernen Rekuperators	183
2. Berechnung des Einflusses von Undichtheiten im Rekuperator auf seine Wirksamkeit	188
3. Nachrechnung eines ausgeführten Rekuperators	196
4. Berechnung eines Rekuperators aus einem doppelwandigen Rohr	209
5. Berechnung eines Rekuperators aus Rohrbündeln	216
XII. Anwendung der Regeneratorberechnung	221
1. Berechnung des Regenerators für einen Verbundkoksofen und des Unterschiedes im Wärmeverbrauch bei Koksofengas- und Gichtgasbeheizung	221
2. Berechnung der Leistung eines Siemens-Martin-Ofens auf Grund der Leistung der Regeneratoren	231
3. Berechnung der Gaskammer eines mit Mischgas aus Gicht- und Koksofengas beheizten Siemens-Martin-Ofens unter Berücksichtigung der Gaszersetzung und Bestimmung des Temperaturabfalles des vorgewärmten Gases	246
4. Nachrechnung eines ausgeführten Hochofenwinderhitzers bei gegebenen Betriebsverhältnissen	256
5. Zusammenhang zwischen Heizflächengröße und Abgasverlust bei einem Winderhitzer	264
6. Verhalten eines Winderhitzers bei Leistungssteigerung	266
7. Vergleich des Zwei-Winderhitzer- mit dem Drei-Winderhitzerbetrieb	270
8. Leistungssteigerung der Winderhitzer durch zweckentsprechende Ausgitterung und Periodenbemessung	274
9. Die Winderhitzer als Gasspeicher	280
XIII. Zug- und Druckverluste in den Wärmeaustauschern	288
XIV. Die konstruktive Ausbildung der Rekuperatoren	298
XV. Die konstruktive Ausbildung der Regeneratoren	312