

Inhaltsverzeichnis

A. Grundlagen

	Seite
1. Wärmeenergie	1
a) Wesen und Wirkung der Wärmeenergie	1
b) Maß der Wärmeenergie	2
c) Grundgesetze der Wärmetechnik	4
2. Wärmebilanz als Rechnungsgrundlage	6
a) Wärmeausgaben, Nutzwärme und Verlustwärme	6
b) Abgasverlust und Wärmerückgewinnung	8
c) Feuerungstechnischer Wirkungsgrad	11
3. Brennstoffe für Industrieöfen	13
a) Gewinnung und Verbrauch	13
b) Grundbrennstoffe	16
c) Feste Brennstoffe	21
d) Heizgase (Generatorgas, Gichtgas, Koksofengas, Erdgas, Raffineriegas, Mischgase)	25
e) Heizöl	30
4. Luftreiche und luftarme Verbrennung	33
a) Luftreiche Verbrennung	33
b) Luftarme Verbrennung bei gegebener Abgasanalyse	34
c) Luftarme Verbrennung bei gegebenem Luftfaktor	37
Gleichgewichte von Methan sowie von Kohlensäure und Wasserdampf über Kohlenstoff und von Wassergas	
d) Berechnung der Rauchgasanalyse mit Stoffbilanz und Gleichgewichtswerten	41
e) Verzunderungsfreie Verbrennung	45
f) Rußende Verbrennung	49
5. Verbrennungseigenschaften der Brennstoffe	52
a) Zündtemperatur	52
b) Zündgrenzen für Gas-Luft-Gemische	52
c) Reichgas-Luft-Gemische als Heizgase	54
d) Erweiterung der Zündgrenzen durch höhere Temperatur	55
e) Zündgeschwindigkeit von Gas-Luft-Gemischen	55
6. Spezifische Wärme und Wärmehalt der Gase	57
7. Abgastemperatur	59

	Seite
8. Ausflammverlust und Falschlufteintritt	61
9. Feuerungstechnischer Wirkungsgrad	68
a) Berechnung und graphische Darstellung für luftreiche Verbrennung . .	68
b) Berechnung für luftarme Verbrennung	71
c) Anwendung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades	72
d) Einfluß der Luftvorwärmung auf den feuerungstechnischen Wirkungsgrad	74
e) Bewertung der Brennstoffe mit dem feuerungstechnischen Wirkungsgrad	75
f) Sonstige Gesichtspunkte für die Brennstoffbewertung	79
g) Vergleich von Gichtgas und Erdgas für den Kalkbrand	81
h) Wärme-Temperatur-Schaubild	84
10. Nutzwärme	87
a) Begriffsinhalt der Nutzwärme	87
b) Arbeitstemperatur einiger wichtiger Wärmvorgänge	89
c) Spezifische Wärme und Wärmeinhalt von Metallen und anderen Stoffen	91
d) Wärmebedarf von Reaktionen	100
e) Wärmebedarf der Reaktionen im Hochofen	103
f) Nutzwärme der Stahlerzeugung	106
g) Nutzwärme und Abbrand bei dem Erwärmen von Stahl	106
h) Nutzwärme bei Wärmvorgängen mit bedeutender Hilfsnutzwärme . . .	107
Bewegungsgesetze	110
11. Verbrennungsvorgang	111
a) Verbrennung als Mischvorgang von Gas und Luft	111
b) Verbrennung im freien Brennerstrahl	114
c) Berechnung des Temperaturverlaufes	117
d) Auflösung des Brennerstrahles durch Auftrieb	124
e) Auflösung des Brennerstrahles durch Aufprall	128
f) Verbrennung von Heizöl	129
g) Bauarten von Kohlefeuerungen und Gasbrennern	137
h) Bemessung der Brenner	142
i) Freistrahlbrenner als Mittel der Umwälzheizung	146
k) Berechnung von Injektorbrennern	148
l) Regelung der Brenner	151
12. Wärmeübergang durch Konvektion	160
a) Grundbegriffe	160
b) Wärmeübergang durch Berührung	162
c) Stoffwerte der Gase	167
d) Konvektiver Wärmeübergang in Rohren und Kanälen bei turbulenter	
Strömung	170
e) Konvektiver Wärmeübergang in Rohren und Kanälen bei laminarer	
Strömung	173
f) Wärmeübergang zwischen Gas und ebener Wand	178
g) Wärmeübergang bei senkrechter Strömung auf die Wand	181
h) Wärmeübergang an quer angeströmte Rohre	181
i) Wärmeübergang an Rohrbündel	185
k) Wärmeübergang an Rippenrohrbündel	188
l) Wärmeübergang an Kugeln	189

m) Wärmeübergang an Kugelschüttungen	190
n) Wärmeübergang in Rostgittern	191
13. Wärmeübergang durch Strahlung zwischen festen Körpern . . .	197
a) Stefan-Boltzmannsches Gesetz und Grundbegriffe der Strahlung	197
b) Emissionszahlen wichtiger Stoffe	199
c) Wärmeübergang zwischen Flächen verschiedener Anordnung	202
d) Strahlungsausgleich im Herdofen (Beispiel)	205
14. Wärmeübergang durch Gasstrahlung	208
a) Strahlung von Kohlensäure und Wasserdampf	208
b) Wärmeübergangszahl der Gasstrahlung für Rauchgase	211
c) Strahlung leuchtender Flammen	217
15. Gesamtwärmeübergang im Ofen	223
16. Wärmeübergang an Außenwänden	234
17. Wärmeleitung	235
a) Grundlagen der Wärmeleitung im stationären und nichtstationären Temperaturfeld	235
b) Wärmeleitzahl für Metalle	238
c) Wärmeleitzahl für feuerfeste Stoffe und Isolierstoffe	241
d) Wärmeleitzahl sonstiger Stoffe	243
e) Wärmeleitung im zeitlich konstanten Temperaturfeld	244
f) Wärmeleitung im zeitlich veränderlichen Temperaturfeld	249
g) Berechnung nach dem Näherungsverfahren von E. Schmidt	249
h) Berechnung mit den Lösungen der Wärmeleitgleichung	255
18. Wärmeverlust von Ofenwänden	257
a) Berechnung des Wandverlustes im Dauerbetrieb	258
b) Standsicherheit isolierter Gewölbe	263
c) Temperatur und Wärmeverlust in Abgaskanälen	270
d) Verlust von Kanten und Ecken	273
e) Wandverlust bei zeitweiligem Betriebe	276
f) Wandverlust bei periodischem Betriebe	280
g) Anhaltswerte für den Wandverlust	288
h) Anhaltswerte für den Verlust durch Kühlwasser	291
19. Erwärmungsvorgang	294
a) Übersicht über die verschiedenen Erwärmungsvorgänge	294
b) Erwärmung dünnen Wärmgutes im Gleichtemperaturofen	295
c) Erwärmung einer Platte	298
d) Erwärmung eines Zylinders	305
e) Erwärmung einer Kugel	310
f) Erwärmung von Wärmgut anderer Formen	313
g) Schaubild zur Berechnung der Erwärmung von plattenförmigen Körpern	315
h) Erwärmung ruhenden Wärmgutes im Gasstrom	319
i) Gasspeicherung in Hochofenwinderhitzern	330

	Seite
k) Erwärmung bewegten Wärmgutes im Gegenstrom	333
l) Erwärmung bewegten Wärmgutes im Gleichstrom	337
m) Erwärmung bewegten Wärmgutes im Kreuzstrom (Querstrom)	337
n) Beispiele und grafische Lösung für die Erwärmung bewegten Wärmgutes	338
20. Rekuperatoren	344
a) Bestimmung der Wärmedurchgangszahl k	345
b) Bauarten von Rekuperatoren	346
c) Änderung der Vorwärmung bei veränderter Ofenleistung	349
d) Wirkung von Hilfsheizflächen im Rekuperator	350
21. Regeneratoren	354
a) Wärmeaustauschzahl k bei zeitlich konstanten Gasttemperaturen	355
b) Wärmeaustauschzahl k bei zeitlich veränderlichen Temperaturen	359
c) Aufbau des Gitters	365
22. Hochofenwinderhitzer	366
a) Aufbau und Wahl des Gitters wärme- und strömungstechnisch betrachtet	366
b) Berechnung der Größe des Winderhitzers	371
c) Berechnung eines Winderhitzers für $150000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ und 1350°C	379
23. Sonderfragen von Ofenbetrieb und Ofenbau	389
a) Abbrand von Stahl	389
b) Verwendung von Schutzgas	395
c) Wärmetechnik des Strahlheizrohres	400
24. Strömungstechnik des Industrieofens	408
a) Grundgesetz des Druckverlustes	408
b) Druckverlust in geraden Leitungen	409
c) Druckverlust durch Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen	412
d) Druckverlust im Gitter von Regeneratoren	413
e) Druckverlust in Schüttungen	415
f) Druckverlust in Regelorganen	419
g) Kaminzug	421
h) Druck- und Zugerzeugung durch Injektoren	423

B. Anwendung der Grundlagen auf die Berechnung von Öfen

1. Einteilung der Öfen nach Konstruktionsmerkmalen	431
2. Berechnung des Wärmeverbrauches	433
3. Herdofen mit ruhendem Einsatz	436
a) Erforderliche Länge des Brennerstrahles	436
b) Anordnung mehrerer Brenner im Ofen	438
c) Leistung, Abgastemperatur und Wärmeverbrauch	439
d) Leistung und Durchwärmung des Wärmgutes	441
e) Temperaturverlauf im Brennerstrahl	444
f) Beheizung durch Abgasumwälzung	446

	Seite
g) Berechnung der Leistung von Herdöfen	450
h) Wärmeübergangszahl in Herdöfen mit niedriger Arbeitstemperatur	459
i) Muffelöfen und Halbmuffelöfen	461
k) Wärmeverbrauch der Einsatzöfen	462
4. Herdofen mit bewegtem Einsatz	466
a) Allgemeine Betrachtungen	466
b) Stoßöfen für Stahlwalzwerke	468
c) Berechnung der Ausgleichszone eines Dreizonenofens	470
d) Berechnung der Hauptwärmzone	473
e) Berechnung der Vorwärmzone	475
f) Gesamtdurchsatzdauer und Leistung des Ofens	476
g) Berechnung des Einzonenofens und des Zweizonenofens	480
h) Stoßöfen der Metallindustrie	483
5. Herdschmelzöfen	485
a) Siemens-Martin-Ofen	486
(Nutzwärme, Wand- und Kühlwasserverlust, Abgas- und Ausflam-	
verlust, nutzbare Wärme der Heizgasarten, Wärmeverbrauch, Größe	
der Regeneratoren)	
b) Kupferaffinierofen	492
c) Leichtmetallschmelzofen	494
6. Großraumöfen	495
a) Anwendungsgebiete der Großraumöfen	495
b) Tieföfen des Blockwalzwerkes	497
c) Berechnung der Abkühlung des Blockes	498
d) Erwärmung des Blockes im Tieföfen	501
e) Abkühlung in der Gießform nach Rechnung und Messung	508
f) Wärmeverbrauch des Tiefofens	509
g) Einfluß der Wandausbildung auf den Wärmeverbrauch	511
(Beispiel Temperofen)	
h) Wärmeverbrauch der Rundöfen der keramischen Industrie	513
7. Schachtöfen	517
a) Anwendungsgebiete der Schachtöfen	517
b) Hochofen für Roheisengewinnung, Bau- und Betriebsweise	518
c) Bestimmung des Koksverbrauches mit der 3-Stufen-Bilanz	521
d) Kohlenstoffverbrauch für direkte Reduktion des Eisens und der Begleit-	
elemente sowie für Wasserdampfzersetzung	522
e) Koks- und Roheisenanalyse und Windmenge	523
f) Ausnutzung von Kohlenmonoxyd und Wasserdampf für die Reduktion	
von FeO	524
g) Menge und Zusammensetzung des Rastgases	525
h) Reduktion von Fe_3O_4 und Fe_2O_3 zu FeO	526
i) Gichtgasmenge und Gichtgaszusammensetzung	526
k) Wärmebilanz des Gestells (Zone I)	527
l) Wärmeausgaben der Zone II (1400 bis 900°C)	528
m) Wärmeausgaben der Zone III (900°C bis Gicht)	529
n) Wärmezufuhr durch Reduktions- und Möllergase	530

	Seite
o) Zusammenstellung der Wärmebilanzen für die drei Zonen	531
p) Einfluß des Schrottsatzes auf den Koksverbrauch	535
q) Einfluß der Kohlenmonoxyd- und Wasserstoffausnutzung auf den Koks- verbrauch	537
r) Koksverbrauch bei Verwendung von Zusatzbrennstoffen	538
s) Reduktionsvermögen der Zusatzbrennstoffe	540
t) Gasmenge, Koksverbrauch und Windtemperatur bei Erdgaszusatz	542
8. Drehrohrofen	546
a) Bauarten und Anwendungsgebiete	546
b) Bewegung des Wärmegutes im glatten Drehofen	548
c) Bewegung des Wärmegutes im Drehofen mit Einbauten	552
d) Bewegung von Feinkorn im Rauchgasstrom	555
e) Zusammenstellung der Formeln für Leistung und Durchsatzdauer	560
f) Wärmeübergang im ausgemauerten Ofen	560
g) Wärmeübergang in der glatten eisernen Trommel	565
h) Wärmeübergang in der Trommel mit Einbauten	566
i) Herstellung von Hochofen-Zementklinker im Drehofen	571
k) Trockentrommel	581
Schriftumsverzeichnis	589
Namenverzeichnis	591
Sachverzeichnis	592