

# Inhaltsverzeichnis

Übersicht der Formelgrößen . . . . .	X
Übersicht der Indizes und Abkürzungen . . . . .	XII
<b>1. Einführung . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Vorbemerkung . . . . .	1
1.2 Die Wärmeübertragung im allgemeinen . . . . .	4
1.2.1 Grundgleichungen für stationäre und instationäre Vorgänge . . . . .	4
1.2.2 Einflußgrößen . . . . .	7
1.2.3 Empirische oder analytische Gleichungen? . . . . .	8
1.2.4 Der Wärmeübergang und die Ähnlichkeitstheorie . . . . .	8
1.2.4.1 Kenngrößen zum Wärmeübergang . . . . .	9
1.2.4.2 Stoffwerte für die Grundgleichungen und Kenngrößen . . . . .	11
a) Wärmeleitfähigkeit . . . . .	11
b) Viskosität . . . . .	16
c) Spezifische Wärmekapazität . . . . .	17
d) Dichte . . . . .	22
1.3 Besonderheiten bei der Verbrennungskraftmaschine . . . . .	24
1.3.1 Auswirkung auf die Wärmeübergangsgleichungen . . . . .	24
1.3.2 Einwirkung der Strahlung . . . . .	27
1.3.3 Wärmedurchgang zur Kühlseite . . . . .	28
1.4 Der Arbeitsprozeß als instationärer oder quasistationärer Vorgang . . . . .	29
1.5 Einfluß des Wärmeübergangs auf den Arbeitsprozeß . . . . .	32
1.5.1 Ladungswechsel . . . . .	32
1.5.2 Verdichtung, Verbrennung und Ausdehnung . . . . .	33
1.5.3 Wärmeverlust und Wirkungsgrad . . . . .	34
1.6 Wärmebeanspruchung von Bauteilen . . . . .	37
<b>2. Wärmeübergang auf der Arbeitsgasseite . . . . .</b>	<b>41</b>
2.1 Wärmeübergangsgleichungen . . . . .	41
2.1.1 Wärmeübergangsgleichungen der Nußeltart (Gruppe I) . . . . .	42
2.1.2 Wärmeübergangsgleichungen nach der Ähnlichkeitstheorie (Gruppe II) . . . . .	49
2.2 Einfluß des Verbrennungsverfahrens . . . . .	56
2.2.1 Brennräume bei Viertakt-Dieselmotoren mit unmittelbarer Einspritzung des Kraftstoffes . . . . .	57
2.2.2 Brennräume bei Viertakt-Dieselmotoren mit mittelbarer Einspritzung des Kraftstoffes . . . . .	59
2.2.3 Brennräume bei Zweitakt-Dieselmotoren mit verschiedenen Spülverfahren . . . . .	62
2.2.4 Brennräume bei Ottomotoren . . . . .	63
2.3 Einfluß der Gasgeschwindigkeit . . . . .	66
2.4 Einfluß von Druck und Temperatur des Arbeitsgases . . . . .	70
2.5 Einfluß der geometrischen Größen, insbesondere beim Arbeitszyylinder . . . . .	87
2.6 Einfluß der Strahlung . . . . .	90
2.6.1 Nach den $\alpha$ -Gleichungen . . . . .	90
2.6.2 Meßwerte . . . . .	104

2.6.3 Analytische Berechnung . . . . .	113
2.6.3.1 Emissionsvermögen und Strahlungsaustausch . . . . .	113
2.6.3.2 Wandeinfluß auf Strahlung und Konvektion . . . . .	126
2.7 Anwendung der Wärmeübergangsgleichungen auf Vier- und Zweitaktmotoren . . . . .	136
2.8 Vergleichende Betrachtung der Wärmeübergangsgleichungen . . . . .	138
2.8.1 Zahlenmäßige Gegenüberstellung . . . . .	138
2.8.2 Versuch einer Wertung der Wärmeübergangsgleichungen mit einer Betrachtung über den örtlichen Einfluß . . . . .	163
<b>3. Wärmeübergang auf der Kühlmittelseite . . . . .</b>	<b>169</b>
3.1 Wärmedurchgang und Kühlung bei Verbrennungskraftmaschinen . . . . .	169
3.2 Wärmeübergang bei Kühlung mit Luft . . . . .	172
3.2.1 Wärmeleitung in Rippen . . . . .	172
3.2.2 Wärmeübergang an verrippten Flächen . . . . .	178
3.2.3 Einfluß von Kühlluftführung auf KühlLufterwärmung und Wärmeübergang . . . . .	188
3.2.4 KühlLuftdurchsatz und Druckverlust . . . . .	196
3.3 Der Wärmeübergang bei Kühlung mit Wasser . . . . .	198
3.3.1 Allgemeine Beschreibung der Wärmeübergangsverhältnisse . . . . .	198
3.3.2 Wärmeübergang bei erzwungener und freier Konvektion . . . . .	199
3.3.3 Wärmeübergang bei Verdampfung . . . . .	205
3.3.4 Wärmeübergang bei Kavitation . . . . .	214
3.3.5 Wärmeübergang im Motorbetrieb . . . . .	219
<b>4. Thermische Belastung und Beanspruchung von Motorbauteilen . . . . .</b>	<b>226</b>
4.1 Einführung und Begriffsbestimmung . . . . .	226
4.2 Temperaturverlauf und Wärmespannungen . . . . .	232
4.2.1 Temperaturverlauf und Temperaturfeld . . . . .	232
4.2.2 Wärmespannungen . . . . .	238
4.2.3 Wärmedämmende Schutzschichten . . . . .	246
4.3 Thermische Belastung und Beanspruchung von Kolben . . . . .	254
4.3.1 Thermische Beanspruchung und Gestaltung . . . . .	254
4.3.2 Wärmeübergang am Kolben . . . . .	260
4.3.2.1 Wärmeaustausch zwischen Arbeitsgas und Kolben . . . . .	260
4.3.2.2 Wärmeaustausch zwischen Kolben und Laufbuchse . . . . .	262
4.3.2.3 Wärmeaustausch zwischen Kolben und Kühlmittel . . . . .	263
4.4 Thermische Belastung und Beanspruchung von Zylinderköpfen . . . . .	270
4.4.1 Thermische Beanspruchung und Gestaltung . . . . .	270
4.4.2 Der Wärmeübergang am Zylinderkopf . . . . .	276
4.4.2.1 Der Wärmeübergang auf der Gasseite . . . . .	276
4.4.2.2 Der Wärmeübergang an den Ventilen . . . . .	277
4.4.2.3 Der Wärmeübergang in den Aus- und Einlaßkanälen des Zylinderkopfes . . . . .	283
4.5 Thermische Belastung und Beanspruchung von Zylinderbuchsen sowie deren konstruktive Gestaltung . . . . .	285
<b>5. Versuchs- und Meßtechnik . . . . .</b>	<b>289</b>
5.1 Vorbemerkungen . . . . .	289
5.2 Verfahren zur Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten . . . . .	289
5.2.1 Analytische Verfahren . . . . .	289
5.2.2 Experimentelle Verfahren . . . . .	292
5.2.2.1 Wärmebilanzmethode . . . . .	292
5.2.2.2 Die Oberflächentemperaturmethode . . . . .	295
5.2.2.3 Wärmeübergangssonden . . . . .	300
5.3 Bestimmung von Temperaturen . . . . .	301
5.3.1 Temperatur des Arbeitsgases . . . . .	301
5.3.2 Messung stationärer Wandtemperaturen . . . . .	304

5.3.3 Messung von Koltentemperaturen . . . . .	308
5.3.3.1 Kontinuierliche Messungen . . . . .	308
5.3.3.2 Diskontinuierliche Messungen . . . . .	309
5.3.3.3 Telemetrische Messungen . . . . .	312
5.3.4 Messung schnellveränderlicher Oberflächentemperaturen . . . . .	314
5.4 Die elektro-thermische Analogie . . . . .	316
<b>6. Anhang . . . . .</b>	<b>322</b>
6.1 Die Wärmeübergangsgleichungen in Originalform . . . . .	322
6.1.1 Wärmeübergangsgleichungen der Nußeltart (Gruppe I) . . . . .	322
6.1.2 Wärmeübergangsgleichungen nach der Ähnlichkeitstheorie (Gruppe II) . . . . .	325
6.2 Stoffwerte einiger fester Stoffe, Flüssigkeiten und Gase für den Bereich der Verbrennungskraftmaschine: Zahlentafeln 1.1 – 1.7 . . . . .	331
<b>Schrifttum . . . . .</b>	<b>340</b>