

**Der Wärmeübergang
und die thermodynamische Berechnung der
Leistung bei Verpuffungsmaschinen
insbesondere bei Kraftfahrzeug-
Motoren**

Von

Dr.-Ing. August Herzfeld

Mit 27 Textabbildungen



Berlin
Verlag von Julius Springer
1925

ISBN-13: 978-3-642-89840-2 e-ISBN-13: 978-3-642-91697-7
DOI: 10.1007/978-3-642-91697-7

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1925

Vorwort.

Die nachstehende Arbeit hat als Grundlage meine Doktordissertation: „Der Wärmeübergang in der Verpuffungsmaschine“, welche von der Technischen Hochschule in München zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs genehmigt worden war.

In dieser wurde zum ersten Male der Versuch gemacht, den Wärmeübergang in der Verpuffungsmaschine auf Grund der Grenzschichttheorie zu bestimmen.

An die ursprüngliche, als Dissertation eingereichte Arbeit anschließend, habe ich noch eine Reihe von Verbesserungen und Zusätzen vorgenommen, die den praktischen Wert der Ergebnisse steigern.

So ist es insbesondere gelungen, den Wärmeübergang am Kolben und an der senkrecht zur Zylinderachse gelegenen Abschlußfläche des Verdichtungsraumes sowie das Temperaturgefälle im Kolben selbst zu bestimmen und für die günstigste Lage der Zündstelle Richtlinien aufzustellen. Schließlich konnten noch einfachere, für die Praxis brauchbare Formeln gewonnen werden, die es ermöglichen, den sonst langwierigen Rechnungsvorgang bei der Ermittlung des Wärmeüberganges so zu vereinfachen, daß hierzu nur mehr wenige Stunden benötigt werden.

Die Untersuchungen wurden an einem alten 8-PS-Einzyliermotor von De Dion Bouton, einem 45/60-PS-Vierzylindermotor der Bayrischen Motorenwerke, einer Deutzer Gasmaschine von 180 mm Bohrung und 320 mm Hub, einem 45 PS vierzylindrigen Daimler-Lastwagenmotor mit Gußeisen- und Leichtmetallkolben und an einem 12/40-PS-Steyr-Sechszylinder-Personenwagenmotor durchgeführt.

Es ergibt sich, daß die hier entwickelte Theorie und die aus ihr entstandenen Näherungsformeln bei Motoren mit einfachen Verbrennungsräumen Ergebnisse zeitigen, die sehr genau mit den Messungen übereinstimmen, während sich bei Motoren mit komplizierten und zerklüfteten Verdichtungsräumen diese Übereinstimmung verschlechtert, da dann Strömungen im Zylinder auftreten, die wir formelmäßig nicht darstellen können.

Bei der Abfassung der als Grundlage dienenden Doktorarbeit habe ich mich dauernder wohlwollender Unterstützung und freundlicher Ratschläge der Herren Professor Dipl.-Ing. G. Marx (Vorsitzender), Prof. Dr.-Ing. G. Zerkowitz (1. Referent), Prof. Dr. O. Knoblauch

(2. Referent), Prof. Dr.-Ing. A. Loschge, Privatdozent Dr.-Ing. H. Schrön und insbesondere auch von seiten des Herrn Dipl.-Ing. O. Kehler zu erfreuen gehabt. Ich gestatte mir daher hierfür auch an dieser Stelle meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Schließlich bin ich auch noch meinem Bruder, Prof. Dr. Karl Ferdinand Herzfeld der Universität München, aufrichtigen Dank schuldig, da er einerseits auf meine Bitte die für die Arbeit grundlegende Integration der Kármán-Latzkoschen Gleichungen vorgenommen, andererseits bei manchen physikalischen und mathematischen Klippen mit Rat und Tat eingegriffen hat.

Steyr, im August 1924.

Nachträglich gestatte ich mir noch, Herrn Generaldirektor Alfred Schick der Österreichischen Waffenfabriks-Gesellschaft und Herrn Hofrat Ing. Johann Zoller, Leiter der Versuchsanstalt für Kraftfahrzeuge in Wien, für die mir zuteil gewordene entgegenkommende und wohlwollende Unterstützung bei der Verwertung des Versuches mit dem Steyr-Motor ergebenst zu danken.

Wien, 1925.

Dr.-Ing. August Herzfeld.

Inhaltsverzeichnis.

Erläuterung der angewandten Bezeichnungen	VI
Einleitung	1
I. Der Wärmeübergang bei augenblicklicher Verpuffung	
1. Grundgedanken der Theorie	4
2. Anwendung der Theorie auf die Verhältnisse im Verpuffungsmotor	7
3. Durchrechnung von Beispielen.	
A. De Dion Bouton-Motor.	
a) Mechanische und thermische Grundangaben für den Versuchsmotor	11
b) Berechnung der spezifischen Wärmen und der Gasreibung	15
c) Berechnung der Grenzschicht	17
d) Berechnung des Wärmeüberganges	22
B. 45/60-PS-Motor der Bayrischen Motorenwerke.	
a) Mechanische und thermische Grundangaben für den Versuchsmotor	29
b) Berechnung der spezifischen Wärmen und der Gasreibung	31
c) Berechnung der Grenzschicht	31
d) Berechnung des Wärmeüberganges	33
C. Diskussion der Ergebnisse	34
II. Der Wärmeübergang bei langsamer Verbrennung.	
1. Allgemeines.	41
2. Ermittlung der Zündgeschwindigkeiten	44
3. Diskussion	47
4. Berechnung des Wärmeüberganges bei langsamer Verbrennung	51
III. Ausgestaltung der Theorie und Einführung einfacher, für die Praxis brauchbarer Formeln	53
IV. Praktische Folgerungen aus den bisherigen Ergebnissen	72
Anhang.	84
a) De Dion Bouton-Motor	85
b) Der 45/60-PS-Motor der Bayrischen Motorenwerke	86
c) Die Deutzer Gasmaschine	87
d) Der 45-PS-Daimler-Lastwagenmotor	88
e) Der 12/40 PS Steyr-Sechszylinder-Personenwagenmotor	88
Zusammenstellung der für die Praxis brauchbaren Näherungsformeln.	91
Quellenangabe	93

Erläuterung der angewandten Bezeichnungen.

A	veränderlicher Faktor in der Näherungsformel (21) für W_{IZ} (siehe S. 61 u. 62 und Abb. 17).
B_c	stündlicher Gesamt-Brennstoffverbrauch in kg.
C	Konstante in der Zähigkeitsformel von Sutherland.
C_v	spezifische Wärme für 1 g in g cal.
C'	Variable zur Bestimmung der jeweiligen Temperatur in der Näherungsformel (29) (Abb. 18).
D	Bohrung in cm.
F	vom Kolben freigelegte Fläche einschließlich Fläche des Kolbens und Zylinderkopfes.
F_s	graphisch integrierte Werte von S .
H	Temperaturfaktor für den Wärmeübergang bei der Grenzschichttheorie.
H_u	unterer Heizwert des Brennstoffes.
K	Wert des Integrals aus Gleichung 7.
L	Luftverbrauch.
L_{chem}	zur vollständigen Verbrennung notwendige Luftmenge.
L_e	stündlicher Luftverbrauch.
N_e	effektive Leistung.
N_i	indizierte Leistung.
N_g	Gesamtleistung beim Explosionshub (einschließlich Verdichtungsarbeit).
P	Druck in kg/m ² .
Q_s	Wärmeübergang durch Strahlung pro sek.
Q_0	Wärmeübergang durch Leitung pro sek und cm ² .
R	Gaskonstante.
R'	Gaskonstante mal Molzahl.
S	Strömungsfaktor bei der Grenzschichttheorie.
S_0	Wert von S an der Stelle $z = z_0$.
S^0	Wert von S am Ende der S -Kurven in Abb. 10 oberhalb des Kolbens.
T	absolute Temperatur des Gases in Zylinder.
T_K	absolute Temperatur im Mittelpunkt des Kolbenbodens.
T_{KM}	mittlere absolute Temperatur des Kolbenbodens.
T_{KR}	absolute Temperatur des Kolbenbodenrandes (oberes Schaftende).
T_{KU}	absolute Temperatur des unteren Kolbenschaftendes.
T_w	absolute Temperatur der Zylinderwand innen.
U	Strömungsgeschwindigkeit im Gaskern in cm/sek.
V	Volumen in m ³ .
W_A	Gesamtwärmeübergang während der Entspannung der Gase beim Öffnen des Auspuffventils und des Auspuffhubes in g cal.
W_E	Gesamtwärmeübergang während des Explosionshubes in g cal.
W_K	gesamte Wärme, die an den Kolben während Explosions- und Auspuffhubes durch Leitung und Strahlung abgegeben wird, in g cal.
W_l und W_{lZ} . .	Wärmeabgabe durch Leitung an die Zylinderwand in g cal.
W_{lK}	Wärmeabgabe durch Leitung an den Kolben in g cal.
W_{lD}	Wärmeabgabe durch Leitung an den Abschluß des Kompressionsraumes in g cal.

W_s	Wärmeabgabe durch Strahlung an den ganzen Zylinder und Kolben in g cal.
W_{sD}	Wärmeabgabe durch Strahlung an den Abschluß des Kompressionsraumes in g cal.
W_{sK}	Wärmeabgabe durch Strahlung an den Kolben in g cal.
W_{sz}	Wärmeabgabe durch Strahlung an den Zylinder in g cal.
a, b, c, d	Kolbenstellungen der Deutzer Gasmaschine.
a, c	Werte für die Gleichung einer Geraden.
c	Kolbengeschwindigkeit in cm/sek.
c_m	mittlere Kolbengeschwindigkeit in cm/sek, bzw. m/sek.
c_v	spezifische Wärme der Ladung in g cal.
d	mittlere Dicke des Kolbenbodens, bzw. Kolbenschaftes in cm.
l	Entfernung des Kolbens vom Abschluß des Kompressionsraumes in cm.
l_K	Länge des Kolbenschaftes in cm.
l_0	Entfernung der oberen Totlage vom Abschluß des Kompressionsraumes in cm.
l_{max}	Entfernung der unteren Totlage vom Abschluß des Kompressionsraumes in cm.
n	Drehzahl in der Minute.
p	Druck in Atm.
s	Hub in cm.
t	Zeit in sek.
t	Temperatur in $^{\circ}$ C.
u	Geschwindigkeit in der Grenzschicht in cm/sek.
v	Volumen.
x''	Wert zur Bestimmung der unteren Grenze des Integrals „ K “.
y	Abstand von der Wand in cm.
z	Abstand des untersuchten Punktes vom Abschluß des Kompressionsraumes in cm.
z_0	Stelle, an der $x'' = l_0$ ist.
z'	Stelle von S' in Abb. 10.
α	Wärmeübergangszahl in g cal/sek. cm 2 $^{\circ}$ C, bzw. kg-Cal/m 2 h $^{\circ}$ C.
δ	Dicke der Grenzschicht in cm.
η_i	indizierter Wirkungsgrad.
η_l	Lieferungsgrad.
η_{mech}	mechanischer Wirkungsgrad.
η_w	wirtschaftlicher Wirkungsgrad.
ε	Kompressionsverhältnis.
λ	Wärmeleitzahl in kg-Cal/m 2 pro m und $^{\circ}$ C.
μ	Reibungszahl.
μ_0	Reibungszahl bei 0° C.
ν	Zähigkeitszahl = $\frac{\mu}{\rho}$.
ν_0	= $\frac{\mu}{\rho_0}$.
ρ	Dichte in g/cm 3 .
ρ_0	Anfangsdichte in g/cm 3 .

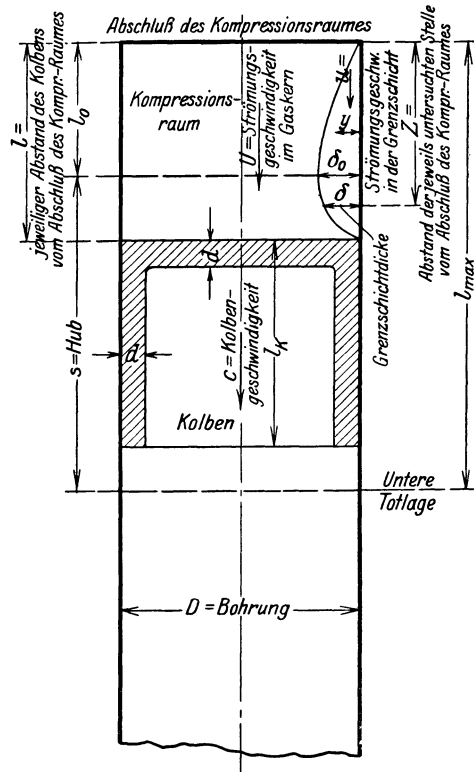


Abb. 1. Schematische Darstellung der wichtigsten Bezeichnungen bei der Bestimmung der Grenzschicht.