

Die Verbrennungskraftmaschine

Herausgegeben von

Prof. Dr. Hans List

Graz

Heft 8

Grundlagen

zur Gestaltung von Verbrennungskraftmaschinen

Zweiter Teil

Die Dynamik der Verbrennungskraftmaschine



Springer-Verlag Wien GmbH

1947

Die Dynamik der Verbrennungskraftmaschine

Von

Dr.-Ing. Hans Schrön
München

Zweite, verbesserte Auflage

Mit 187 Textabbildungen



Springer-Verlag Wien GmbH

1947

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten**

**Copyright 1942 and 1947 by Springer-Verlag Wien
Ursprünglich erschienen bei Springer Verlag Vienna 1947**

ISBN 978-3-662-27573-3 ISBN 978-3-662-29060-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-29060-6

Vorwort.

Von einer Verbrennungskraftmaschine muß ruhiger und gleichförmiger Lauf und ausreichende mechanische Betriebssicherheit gefordert werden. Aus diesen Gründen ist bereits beim Entwurf auf jene lauftechnischen Probleme volles Augenmerk zu richten, die zu Störungen Anlaß geben können und deren Kenntnis manche Fehlgriffe in der Planung und in der Durchbildung wichtiger Teile der Verbrennungskraftmaschine verhütet.

Von der großen Zahl der einschlägigen Fragen sind mit der Steigerung des Raschlaufes der Verbrennungskraftmaschine einige besonders in den Vordergrund gerückt. Zu diesen gehören die Vorgänge vorwiegend dynamischer Art mit ihren zahlreichen Begleiterscheinungen, wie vor allem der Massenausgleich, der Drehmomentausgleich und das Schwingungsverhalten des Triebwerks.

Mit der Dynamik der Maschine eng verbunden ist die Berechnung der Hauptabmessungen der Maschine aus vorgeschriebener Leistung und die mit ihr zusammenhängende Wahl der Zylinderzahl und der Maschinenbauart; denn letztere beeinflussen das Entstehen und die Auswirkung der dynamischen Erscheinungen maßgeblich.

Dem Wunsche von Herrn Professor Dr.-Ing. H. LIST, im Rahmen des von ihm herausgegebenen Werkes die Behandlung dieser Sonderprobleme zu übernehmen, bin ich gerne nachgekommen, da ich diesen Gebieten von jeher meine Aufmerksamkeit zugewendet habe.

Bei der Bearbeitung von Einzelfragen und bei der Korrektur der Druckbogen war Herr Dipl. Ing. A. BRAUN in dankenswerter Weise behilflich.

München, Dezember 1941.

H. Schrön.

Vorwort zur 2. Auflage.

Seit dem Erscheinen der ersten Auflage sind auf dem Gebiet der Dynamik der Verbrennungskraftmaschinen wesentliche Erkenntnisse nicht gewonnen, neue Verfahren nicht entwickelt worden. Der Inhalt der ersten Auflage entspricht daher auch heute noch dem derzeitigen Stand des Fachgebietes.

Die freundliche Aufnahme, die das Werk im In- und Ausland gefunden hat, zeigte, daß der Verfasser den Anforderungen, die an die Darstellung des Stoffes von der Fachwelt gestellt werden, entsprochen hat.

Aus diesen Gründen und um ein rasches Wiedererscheinen des schon lang vergriffenen, für Studium und Praxis wichtigen Werkes zu ermöglichen, entschlossen sich Verlag, Verfasser und Herausgeber zu einer Neuauflage ohne wesentliche Änderungen. Einige Wünsche des Leserkreises und Absichten des Verfassers hinsichtlich weiterer Ausgestaltung und Ergänzung einzelner Abschnitte, wurden daher zur Aufnahme in künftige Auflagen zurückgestellt.

Graz, Februar 1947.

H. List.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
A. Berechnung der Hauptabmessungen	1
I. Ähnlichkeitsbeziehungen der Maschinenreihen	2
1. Maß für die Schnellläufigkeit	2
2. Maß für die Baustoffausnützung	4
3. Maß für die thermische Beanspruchung der Baustoffe	4
a) Wärmebelastung des Kolbens	4
b) Wärmebelastung des gesamten Verbrennungsraumes	5
4. Weitere Vergleichsgrößen	6
a) Hubraumleistung	6
b) Hubraum- oder Litergewicht	6
c) Leistungsgewicht	7
5. Schnellläufigkeit und Hubverhältnis als Kennwerte für die Einteilung der Maschinen.	9
a) Langsamläufer und Mittelläufer	9
b) Schnellläufer	9
c) Hubverhältnis	10
II. Wahl der Zylinderzahl und der Bauform	10
1. Zylinderzahl	10
a) Ausgeführte Zylinderzahlen	10
b) Zylinderzahl und Zündfolge	11
c) Thermisches Verhalten verschieden großer Zylinder	15
d) Dynamisches Verhalten verschiedener Zylinderzahlen	15
e) Hubraumleistung	17
f) Hubraumgewicht	17
g) Raumbedarf der Maschine	19
h) Vielzahl der Einzelteile	19
i) Herstellungsrücksichten	19
k) Besondere Anforderungen	19
2. Bauform	20
a) Stehende und liegende Bauart	20
b) Hängende Bauart	20
c) Mehrstrahlige Bauarten	20
d) Kurbeltrieb ohne und mit Kreuzkopf	21
e) Einfach- oder doppeltwirkende Zylinder	21
III. Ermittlung der Hauptabmessungen	22
1. Leistungsformeln	22
2. Hauptabmessungen	24
Berechnung von Durchmesser und Hub	24
Berechnung des Verdichtungsraumes	34
IV. Erfahrungswerte	34
1. Kennwerte	34
2. Ergänzende Hinweise	35
Schrifttum	36
B. Massenausgleich	37
I. Kräfteausgleich	37
1. Massenkräfte eines Kurbeltriebes	38
a) Massenverteilung	38
b) Massenkräfte	39

	Seite
2. Maßnahmen zur Bekämpfung der Massenkräfte bei Einkurbelmaschinen	42
a) Umformung der Schwerpunktbahn der bewegten Massen und Änderung der Wirkungsrichtung der freien Kräfte	42
b) Massenausgleich 1. Ordnung mit Hilfswelle und umlaufenden Massen	43
3. Ausgleich der Massenkräfte der Mehrzylindermaschinen	43
a) Reihenaart	44
α) Einreihenordnung der Zylinder 44. — β) Zweireihenordnung der Zylinder 48. — γ) Dreireihenordnung der Zylinder 50. — δ) Vierreihenordnung der Zylinder 50.	
b) Sternbauart	51
II. Momentenausgleich	54
1. Verschiedene Arten von Momenten	54
a) Wirkung der Massenkräfte bei Mehrzylindermaschinen	54
b) Wirkung der Drehmomente aus der Pleuelstangenschwingung	54
2. Einreihenbauart	54
a) Kippmomente	54
b) Quermomente	58
3. Mehrreihenbauart	62
4. Sternbauart	64
III. Folgeerscheinungen der freien Massenwirkungen und ihre Milderung	65
Schrifttum	66
C. Drehmoment und Wuchtausgleich. Schwungradberechnung	66
I. Verschiedene Untersuchungsverfahren	67
1. Vorgehen mit vereinfachter Wuchtgleichung	67
2. Vorgehen mit vollständiger Wuchtgleichung	68
II. Drehmomentenausgleich. Berechnung von Schwungradgewicht und Ungleichförmigkeitsgrad aus dem Drehkraftdiagramm	69
1. Drehkraftdiagramm eines Zylinders	69
a) Massendrehkräfte	70
b) Gasdrehkräfte	71
2. Drehkraftdiagramm der Mehrzylindermaschine	73
a) Kurbelversetzung oder Zylinderversetzung	73
b) Resultierende Massendrehkräfte	74
c) Resultierende Gasdrehkräfte	74
d) Zusammensetzung der Massen- und Gasdrehkräfte	76
3. Schwungräder als Energiespeicher	79
a) Aufzuspeichernde Arbeit	80
b) Ungleichförmigkeitsgrad	82
c) Schwungradmasse und Schwungradmoment	84
d) Schwungradberechnung ohne Aufzeichnung der Drehkraftkurve	85
e) Berücksichtigung weiterer Gesichtspunkte	86
III. Wuchtausgleich. Bestimmung des Schwungradgewichtes mit Hilfe des Trägheits-Energie-Diagramms	90
1. Allgemeines Trägheits-Energie-Diagramm	90
a) Wucht eines Kurbeltriebes	91
b) Wucht bei Mehrzylindermaschinen	97
c) Arbeitsdiagramm	98
d) Trägheits-Energie-Diagramm	99
e) Ungleichförmigkeitsgrad	102
f) Zusatzschwungradmasse	103
g) Vergleich der verschiedenen Zylinderzahlen	104
2. Vereinfachtes Vorgehen mit zwei reduzierten Massen	107
IV. Festigkeitsrechnung der Schwungräder	108
1. Festigkeit des Scheibenschwungrades	108
a) Umlaufende, volle Scheibe gleicher Stärke	108
b) Scheibe gleicher Stärke mit Bohrung in der Mitte	111
c) Berechnung der Spannungen in Scheibenschwungrädern	112
2. Festigkeit des Speichenschwungrades	115
Schrifttum	118

	Seite
D. Kurbelwellenschwingungen	119
I. Biegeschwingungen	119
1. Einfluß der Lagerung der Kurbelwelle	120
2. Eigenschwingungsformen und -zahlen	121
a) Zweifach gelagerte Wellen	121
b) Mehrfach gelagerte Wellen	128
c) Längsfederung der Welle	129
3. Erregende Kräfte	129
4. Kritische Maschinendrehzahlen	130
5. Kritische Drehzahl von Kurbelwellen als Folge umlaufender Massen	130
6. Biegeschwingungen an ausgeführten Anlagen	132
II. Drehschwingungen	133
1. Schwingendes System	133
Ermittlung des Ersatzsystems	133
a) Ermittlung der Ersatzmassen	134
b) Ermittlung der Ersatzlängen	137
2. Eigenschwingungsformen und Eigenschwingungszahlen des Systems	143
a) Allgemeines	143
b) Verfahren zur Ermittlung der Schwingungsform	144
c) Beispiele von Anlagen mit Abwandlung der Eigenschwingungsform	150
d) Beispiele von Eigenschwingungszahlen	151
3. Erregende Drehkräfte aus Gas- und Massenkräften	151
a) Gesamtdrehkraft und Einzeldrehkraft	152
b) Bezeichnung der erregenden Harmonischen	152
c) Darstellung der Harmonischen	153
d) Harmonische der Massendrehkraft	153
e) Harmonische der Gasdrehkraft und resultierende Drehkraft	154
4. Ermittlung der Resonanzausschläge	158
a) Wirkung der Drehkräfte	158
b) Kritische Drehzahlen	159
c) Ziffer und Ordnung der kritischen Erregenden	161
d) Schwingungsarbeit und Dämpfung	161
e) Resonanzausschläge	164
5. Resonanzkurven	167
6. Drehbeanspruchung der Kurbelwelle bei Resonanz	169
7. Zahlenbeispiel	171
a) Eigenschwingungsform und -zahl der Welle	172
b) Resonanzausschläge und Zündfolge	173
c) Kritische Drehzahlen des Motors	174
d) Zusätzliche Drehbeanspruchung der Welle	174
8. Bekämpfung der Schwingungen	175
9. Drehschwingungswandler (Dämpfer und Tilger)	177
a) Einmassensystem mit aufgesetztem Wandler	178
α) Resonanzdämpfer 179. — β) Sonderfälle des dynamischen Dämpfers 183.	
b) Mehrmassensystem mit aufgesetztem Wandler. Dämpfer- und Tilgerbauarten ..	185
α) Bauliche Gestaltung und Bemessung des Resonanzschwingungsdämpfers 185. — β) Weitere dynamische Dämpfer 187. — γ) Schwingungstilger (ungedämpfter, exzentrischer Zusatzschwinger) 195.	
Schrifttum	199