



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Kraftfahrzeugtechnik

Praxisorientiertes Rechnen Kraftfahrzeugtechnik

1. Auflage

Bearbeitet von Gewerbelehrern und Ingenieuren
Lektorat: Rolf Gscheidle, Studiendirektor a. D., Winnenden

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr. 22307

Autoren:

Fischer, Richard	Studiendirektor a. D.	Polling – München
Gscheidle, Rolf	Studiendirektor a. D.	Winnenden
Gscheidle, Tobias	Dipl.-Gewerbelehrer, Studiendirektor	Sindelfingen-Filderstadt
Hohmann, Berthold	Oberstudiendirektor	Eversberg
Keil, Wolfgang	Oberstudiendirektor a. D.	München
Lohuis, Rainer	Dipl.-Ingenieur, Oberstudienrat	Hückelhoven
Renz, David	M.Sc., Studiendirektor	Gomaringen – Stuttgart
Schlögl, Bernd	Dipl.-Gwl. Studiendirektor	Rastatt-Gaggenau
Spring, Andreas, Dr.	Dipl.-Ingenieur, Oberstudienrat	Starnberg – München

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:
Rolf Gscheidle, Studiendirektor a. D., Winnenden

Bildbearbeitung:
Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

1. Auflage 2025

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-2230-7

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2025 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt
Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Umschlagfoto: BMW AG, München
Druck: Plump Druck & Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

VORWORT

Wir freuen uns, dieses praxisorientierte Rechenbuch vorstellen zu dürfen, das speziell für die Ausbildung im Kraftfahrzeugbereich entwickelt wurde. Dieses Buch ist darauf ausgerichtet, nicht nur die nötigen mathematischen Fertigkeiten zu vermitteln, sondern auch deren praktische Anwendung im Kfz-Bereich zu verdeutlichen.

In der modernen Kfz-Ausbildung sind fundierte mathematische Kenntnisse unerlässlich. Sie bilden die Grundlage für viele Bereiche der Fahrzeugtechnik, sei es bei der Berechnung von Motorkennzahlen, Antriebsstrang, Fahrwerk, Elektrotechnik mit Berechnungen zur Hochvolttechnik sowie zur Karosserie- und Fertigungstechnik und der Kalkulation von Reparaturkosten.

Eine besondere Stärke dieses Rechenbuchs liegt in seiner thematischen Gliederung. Die Aufgaben sind systematisch nach Themen geordnet, was es ermöglicht, sich gezielt mit den für die Ausbildung relevanten Inhalten zu beschäftigen. Dadurch ist es möglich, sich schrittweise und themenspezifisch in die Materie einzuarbeiten und das mathematisch-technische Wissen zu vertiefen.

Jedes Kapitel beginnt mit einer kurzen Einführung in das jeweilige Thema, gefolgt von einer Vielzahl an Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade. Diese sind in **grün** für leichten, in **grau** für mittleren und in **rot** für einen hohen Schwierigkeitsgrad gekennzeichnet. Dies erlaubt es das Wissen zu testen und kontinuierlich zu erweitern. Zusätzlich bieten Lösungen am Ende des Aufgabenblocks die Möglichkeit, die Ergebnisse zu überprüfen.

Wir sind überzeugt, dass dieses Buch nicht nur helfen wird, die mathematischen Fähigkeiten zu verbessern, sondern auch die Freude an der Fahrzeugtechnik zu steigern.

Das Buch ist in sechs Kernthemen gegliedert:

- **Motortechnik**
- **Antriebsstrang**
- **Fahrwerk**
- **Elektrotechnik**
- **Karosserie- und Fertigungstechnik**
- **Kostenrechnen**

Größengleichungen nach DIN 1313. Diese Formeln sind **grün** unterlegt.

Zahlenwertgleichungen nach DIN 1313 sind **blau** unterlegt.

Einheitengleichungen sind **grau** unterlegt.

Merksätze oder Rechenregeln sind **grün** unterlegt.

Das Buch bildet zusammen mit den weiteren Büchern der Fachbuchreihe Kraftfahrzeugtechnik eine Einheit, da alle Werke inhaltlich aufeinander abgestimmt sind.

Wenn Sie mithelfen möchten, dieses Buch für die kommenden Auflagen zu verbessern, schreiben Sie uns unter lektorat@europa-lehrmittel.de. Ihre Hinweise und Verbesserungsvorschläge nehmen wir gerne auf.

INHALTSVERZEICHNIS

1 MOTORTECHNIK

1.1	Hubraum, Hubverhältnis, Verdichtungsraum, Verdichtungsverhältnis	5
1.2	Kolbengeschwindigkeit	11
1.3	Kurbeltrieb	13
1.4	Steuerzeiten, Steuerwinkel, Ventilöffnungszeit	16
1.5	Motorleistung	18
1.6	Motorprüfstand	21
1.7	Kenngrößen von Verbrennungsmotoren	22
1.8	Kraftstoffverbrauch	24
1.9	Luftbedarf	28
1.10	Motorkühlung	30
1.11	Motorschmierung	34
1.12	Riementrieb	36

2 ANTRIEBSSTRANG

2.1	Kupplung	39
2.2	Hydraulische Kupplungsbetätigung	41
2.3	Ungleichachsiges Wechselgetriebe	44
2.4	Gleichachsiges Wechselgetriebe ...	47
2.5	Achsgetriebe	49
2.6	Gesamtübersetzung Antriebsstrang	52
2.7	Äußere Fahrwiderstände	56

3 FAHRWERK

3.1	Geschwindigkeit	63
3.2	Beschleunigung	64
3.3	Reifen und Räder	67
3.4	Bremsanlage	73
3.5	Lenkung	89
3.6	Achskräfte, Auflagerkräfte	93

4 ELEKTROTECHNIK

4.1	Beleuchtungsanlage	96
4.2	Startanlage	98
4.3	Elektrische Scheibenheizung	103
4.4	Starterbatterie	105
4.5	Drehstromgenerator	107

4.6	Zündanlage	109
4.7	Eingang Steuergerät: Sensoren ...	111
4.8	Ausgang Steuergerät: Aktoren ...	113
4.9	Akkumulatoren in Elektrofahrzeugen	115
4.10	Kondensator	117
4.11	Spule	123
4.12	Wechselspannung und Wechselstrom	126
4.13	Elektrische Antriebsmaschinen in Elektrofahrzeugen	133
4.14	CO ₂ -Emissionen von Elektrofahrzeugen	135
4.15	Datenbussysteme	137

5 KAROSSERIE- UND FERTIGUNGSTECHNISCHES RECHNEN

5.1	Flächenberechnung, Verschnitt ...	140
5.2	Zusammengesetzte Flächen	141
5.3	Volumen	142
5.4	Masse, Dichte	143
5.5	Kraft, Gewichtskraft	144
5.6	Längenteilungen	148
5.7	Gestreckte Längen	149
5.8	Zusammengesetzte Längen	150
5.9	Kanten von Blechen	151
5.10	Bördeln von Blechen	152
5.11	Druck, Volumen und Temperatur von Gasen	153
5.12	Festigkeitslehre	154
5.13	Umfangsgeschwindigkeit	157
5.14	Schnittgeschwindigkeit	158

6 KOSTENRECHNEN

6.1	Rechnungserstellung/ Kostenvoranschlag	159
6.2	Fahrzeugkosten/Kilometerkosten (km-Kosten)	161
6.3	Schadenskalkulation	163

Sachwortverzeichnis

Bildquellenverzeichnis

1 MOTORTECHNIK

1.1 HUBRAUM, HUBVERHÄLTNIS, VERDICHUNGSRAUM, VERDICHUNGSVERHÄLTNIS

Hubraum und Verdichtungsraum bestimmen das Verdichtungsverhältnis.

1.1.1 HUBRAUM

Die Größe des Hubraumes ist eines der wichtigsten Merkmale eines Verbrennungsmotors.

Man unterscheidet:

- Zylinderhubraum V_h = Hubraum eines Zylinders
- Motorhubraum V_H = Summe der Hubräume aller Zylinder eines Motors.

Zylinderhubraum V_h

Er wird durch die kreisförmige Zylinderquerschnittsfläche A und dem Hub s des Kolbens gebildet.

Hub s

Darunter versteht man den Weg des Kolbens, den dieser vom Unteren Totpunkt UT bis zum Oberen Totpunkt OT oder umgekehrt zurücklegt.

Verdichtungsraum V_c

Dies ist der Raum im Zylinder, der übrigbleibt, wenn sich der Kolben im OT befindet.

Dieser Raum kann aufgrund seiner komplexen Form mit einfachen Mitteln nicht berechnet werden. Deshalb wird er in der Praxis meist durch Auslitern bestimmt.

V_H	Motorhubraum in cm^3 oder l
V_h	Zylinderhubraum in cm^3
z	Zylinderzahl
A	Zylinderquerschnittsfläche in cm^2
d	Zylinderdurchmesser (Bohrung) in cm
s	Hub in cm

Beispiel

Die BMW RR besitzt einen 4-Zylinder-Motor mit einem Kolbendurchmesser von $d = 80$ mm und einem Hub s von 49,7 mm.

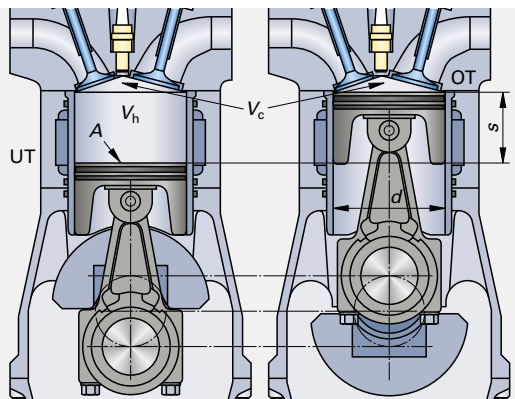
Wie groß ist der Zylinderhubraum V_h in cm^3 ?

Gesucht: V_h in cm^3

Gegeben: $d = 80$ mm = 8,0 cm;
 $s = 49,7$ mm = 4,97 cm

Lösung

$$V_h = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot s}{4} = \frac{(8,0 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 4,97 \text{ cm}}{4} = 249,7 \text{ cm}^3$$



$$V_H = V_h \cdot z$$

$$V_h = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot s}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot s^2}}$$

$$s = \frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot d^2}$$



Aufgaben

- 1** Der Verbrennungsmotor eines Audi Q8 TFSI e hat $z = 6$ Zylinder, einen Hub s von 89 mm und einen Zylinderdurchmesser d von 84,5 mm.
- Berechnen Sie den Zylinderhubraum V_H in cm^3 .
 - Wie groß ist der Motorhubraum V_H in l?
- 2** Der 4-Zylinder-Motor eines Toyota GT 86 besitzt einen Motorhubraum von 1997 cm^3 und eine Bohrung von 86 mm.
- Wie groß ist der Zylinderhubraum?
 - Wie groß ist der Hub?
- 3** Bei einem Hub von 171 mm beträgt der Zylinderhubraum eines Mercedes-Benz-Motors 2593 cm^3 .
- Wie groß ist die Bohrung?
 - Wie groß ist der Motorhubraum des 6-Zylinder-Motors in cm^3 und l?
- 4** Der Motor eines Audi A3 1,0 TFSI hat einen Hubraum von 999 cm^3 .
- Wie groß ist der Hub des 3-Zylinder-Motors, wenn die Bohrung 74,5 mm beträgt?
- 5** Ein Mercedes E 300 besitzt einen 4-Zylinder-Dieselmotor mit einem Motorhubraum von 1950 cm^3 . Der Hub beträgt 92,3 mm.
- Wie groß ist der Zylinderdurchmesser?
- 6** Der 6-Zylinder-Motor eines Oldtimers wird überholt. Der Motor besaß ursprünglich Kolben mit einem Durchmesser von 89 mm. Nach dem Ausschleifen werden Übermaßkolben mit einem Durchmesser von 90 mm eingesetzt.
- Um welchen Wert erhöht sich der Motorhubraum, wenn der Hub mit 85,5 mm gleich bleibt?

Lösungen

1a) $498,9 \text{ cm}^3$; **1b)** 3 l; | **2a)** $499,3 \text{ cm}^3$; **2b)** 86 mm | **3a)** 138,99 mm; **3b)** $15558 \text{ cm}^3/15,6 \text{ l}$ | **4)** 76,43 mm | **5)** 82,03 mm | **6)** $72,1 \text{ cm}^3$

1.1.2 HUBVERHÄLTNIS

Die Größe des Zylinderhubraums eines Motors hängt ab vom Hub s und der Bohrung (dem Zylinderdurchmesser) d des Motors.

Das Verhältnis von Hub s zu Zylinderdurchmesser d wird als Hubverhältnis k (auch Hub-Bohrungs-Verhältnis) bezeichnet.

k	Hubverhältnis, Hub-Bohrungs-Verhältnis
s	Hub in mm
d	Bohrung, Zylinderdurchmesser in mm

Das Hubverhältnis beeinflusst die Motorcharakteristik.

 $k > 1$

Ist der Hub s des Motors größer als der Zylinderdurchmesser d , spricht man von einem **Langhuber**.

Wegen der größeren Kurbelwellenkröpfung entsteht ein größerer Hebelarm am Kurbeltrieb. Dadurch erzeugen solche Motoren ein relativ hohes Motordrehmoment.

Der größere Hub bewirkt eine höhere Kolbengeschwindigkeit. Da das Pleuel länger und damit schwerer ist, wirken höhere Beschleunigungskräfte auf den Kurbeltrieb. Aus diesen Gründen ist die zulässige Höchstzahl dieser Motoren meist niedriger.

Langhuber werden in Fahrzeugen verwendet, von denen ein hohes Zugvermögen verlangt wird.

Gesucht: k

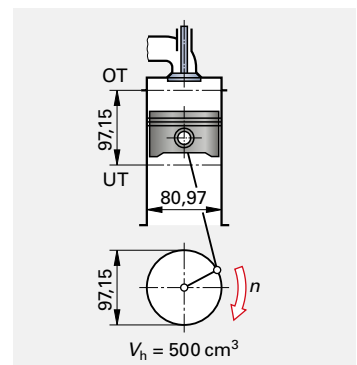
Gegeben: $s = 97,15 \text{ mm}$; $d = 80,97 \text{ mm}$

Lösung $k = s/d = 97,15 \text{ mm}/80,97 \text{ mm} = 1,2$

$$k = \frac{s}{d}$$

$$s = k \cdot d$$

$$d = \frac{s}{k}$$



$k \approx 1$, Quadrathuber.

Ist der Hub s in etwa gleich groß wie der Zylinderdurchmesser d , handelt es sich bei dem Motor um einen **Quadrathuber**.

In den meisten Pkw mit Ottomotor werden solche Motoren verwendet. Sie besitzen ein ausgewogenes Verhältnis von Drehmoment und Leistung.

Gesucht: k

Gegeben: $s = 86,00 \text{ mm}$; $d = 86,00 \text{ mm}$

Lösung $k = s/d = 86 \text{ mm}/86 \text{ mm} = 1,0$

 $k < 1$, Kurzhuber.

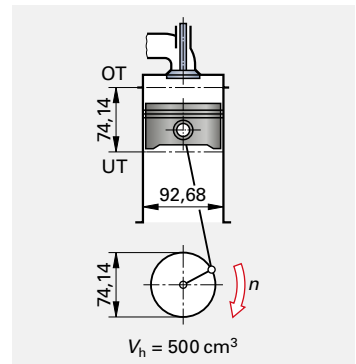
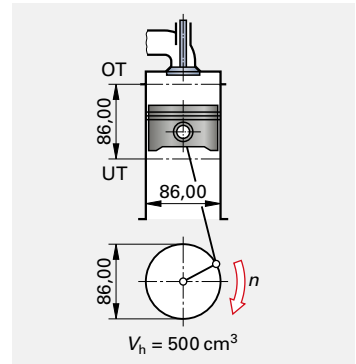
Ist der Hub s des Motors kleiner als der Zylinderdurchmesser d , wird der Motor als **Kurzhuber** bezeichnet.

Diese Motoren werden meist in Fahrzeugen verwendet, die sportlich ausgelegt sind. Durch den kleineren Hub sind höhere Drehzahlen möglich. Die Motoren drehen schnell hoch und erreichen aufgrund der hohen Drehzahlen eine relativ hohe Motorleistung. Das Drehmoment ist wegen der kleinen Kurbelkröpfung und dem damit verbundenen kleinen Hebelarm geringer.

Gesucht: k

Gegeben: $s = 74,14 \text{ mm}$; $d = 92,68 \text{ mm}$

Lösung $k = s/d = 74,14 \text{ mm}/92,68 \text{ mm} = 0,8$

**Aufgaben**

- 1 Der Motor eines Fendt 1165 MT besitzt einen Hub s von 145 mm und einen Zylinderdurchmesser d von 111 mm.
 - a) Wie groß ist das Hubverhältnis k ?
 - b) Wie wird der Motor aufgrund seines Hubverhältnisses bezeichnet?
- 2 Eine BMW RR besitzt einen Kolbendurchmesser d von 80 mm und einen Hub s von 49,7 mm.
 - a) Wie groß ist das Hubverhältnis k ?
 - b) Wie wird der Motor aufgrund seines Hubverhältnisses bezeichnet?
- 3 Das Hubverhältnis des Ford Mustang beträgt 1,0. Der Kolbendurchmesser ist 93 mm groß. Wie groß ist der Hub?
- 4 Der Motor eines BMW X7 4.0d besitzt einen Hub von 90 mm bei einem Hubverhältnis von 1,03. Wie groß ist die Bohrung?
- 5 Der Mercedes-Motor OM654 besitzt einen Hub von 92,3 mm. Wie groß ist die Bohrung, wenn das Hubverhältnis 1,125 beträgt?
- 6 Der Motor eines Mercedes Actros besitzt einen Zylinderhubraum von $2593,6 \text{ cm}^3$.
 - a) Wie groß ist der Hub, wenn der Zylinderdurchmesser 139 mm beträgt?
 - b) Wie groß ist das Hubverhältnis?
- 7 Der Vierzylindermotor des Toyota GT 86 besitzt einen Motorhubraum von 1997 cm^3 .
 - a) Wie groß ist der Zylinderhubraum?
 - b) Wie groß ist der Hub, wenn das Hubverhältnis des Motors 1,0 beträgt?

Lösungen

1a) 1,31; **1b)** Langhuber | **2a)** 0,62; **2b)** Kurzhuber | **3)** 93,00 mm | **4)** 87,38 mm | **5)** 82,04 mm | **6a)** 171,00 mm; **6b)** 1,23 | **7a)** $499,3 \text{ cm}^3$; **7b)** 86,00 mm

1.1.3 VERDICHTUNGSVERHÄLTNIS

Das Verdichtungsverhältnis ε bezeichnet das Verhältnis von größtem Verbrennungsraum zu kleinstem Verbrennungsraum.

Verbrennungsraum V_b .

Es ist der Raum, der vom Zylinder, dem Kolbenboden und dem Zylinderkopf umschlossen ist. Seine Größe ändert sich während eines Hubes fortlaufend.

Größter Verbrennungsraum.

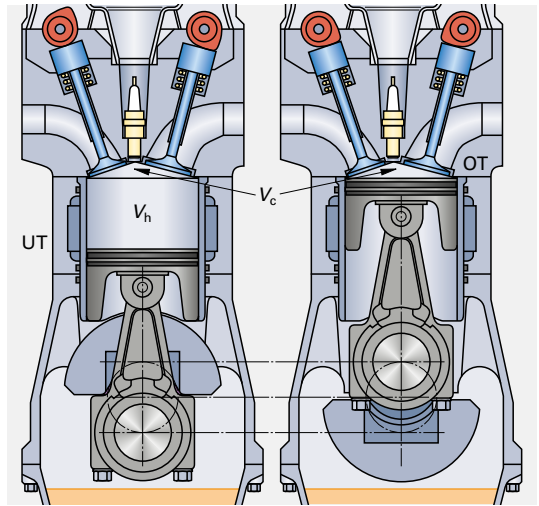
Er liegt vor, wenn sich der Kolben in UT befindet. Dann setzt sich der Verbrennungsraum aus dem Zylinderhubraum V_h und dem Verdichtungsraum V_c zusammen.

Kleinsten Verbrennungsraum.

Befindet sich der Kolben in OT, wird der Verbrennungsraum allein durch V_c gebildet.

Die Grundformel für das Verdichtungsverhältnis lautet:

ε Verdichtungsverhältnis
 V_h Zylinderhubraum in cm^3
 V_c Verdichtungsraum in cm^3



$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

$$V_h = V_c \cdot (\varepsilon - 1)$$

$$V_c = \frac{V_h}{(\varepsilon - 1)}$$

Beispiel

Der Verdichtungsraum des Audi Q8 TFSI e beträgt 49 cm^3 , der Zylinderhubraum 499 cm^3 .

Wie groß ist das Verdichtungsverhältnis?

Gesucht: ε

Gegeben: $V_h = 499 \text{ cm}^3$; $V_c = 49 \text{ cm}^3$

Lösung $\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} = \frac{499 \text{ cm}^3 + 49 \text{ cm}^3}{49 \text{ cm}^3} = 11,2$

Aufgaben

- Die BMW 1000 RR besitzt einen Zylinderhubraum V_h von $249,7 \text{ cm}^3$. Der Verdichtungsraum V_c ist $19,9 \text{ cm}^3$ groß.
Wie groß ist das Verdichtungsverhältnis ε ?
- Der Zylinderhubraum eines Mercedes Actros ist 2593 cm^3 groß.
Wie groß ist der Verdichtungsraum, wenn das Verdichtungsverhältnis $17,0$ beträgt?
- Der Ford Mustang besitzt ein Verdichtungsverhältnis von $12,0$. Der Verdichtungsraum des V-8-Zylinders beträgt $57,2 \text{ cm}^3$.
a) Wie groß ist der Zylinderhubraum?
b) Wie groß ist der Motorhubraum?
- Der Motorhubraum eines Opel Astra 1,4 Turbo beträgt 1394 cm^3 .
Wie groß ist der Verdichtungsraum des 4-Zylinder-Reihenmotors, wenn sein Verdichtungsverhältnis $9,5$ beträgt?
- Der 6-Zylinder-Motor des BMW X7 40d besitzt einen Verdichtungsraum von $32,2 \text{ cm}^3$.
Wie groß ist der Motorhubraum, wenn das Verdichtungsverhältnis $16,5$ beträgt?
- Der Motorhubraum eines Porsche 911 GT3 beträgt 3996 cm^3 .
Wie groß ist der Verdichtungsraum, wenn das Verdichtungsverhältnis des 6-Zylinder-Motors $13,3$ beträgt?

Aufgaben

7 Der Motor eines Fendt 1165 MT besitzt eine Bohrung von 111 mm und einen Hub von 145 mm.

Berechnen Sie das Verdichtungsverhältnis, wenn der Verdichtungsraum $88,8 \text{ cm}^3$ groß ist.

8 Der Motor eines Oldtimers wurde überholt. Durch das Ausschleifen des Motors erhöhte sich der Zylinderdurchmesser auf 90 mm. Der Hub blieb mit 85,5 mm gleich.

Wie groß ist das Verdichtungsverhältnis, wenn sich durch Auslitern des Zylinderkopfes ein Verdichtungsraum von $61,8 \text{ cm}^3$ ergibt?

Lösungen

1a) 13,5 | 2) $162,1 \text{ cm}^3$ | 3a) $629,2 \text{ cm}^3$; 3b) $5033,6 \text{ cm}^3$ | 4) $41,0 \text{ cm}^3$ | 5) $2994,6 \text{ cm}^3$ | 6) $54,1 \text{ cm}^3$ | 7) 16,8 | 8) 9,8

1.1.4 VERDICHTUNGSÄNDERUNG

Vor der Berechnung der Verdichtungsänderung muss grundsätzlich geklärt werden, ob die Maßnahme am Motor zu einer Erhöhung oder zu einer Verringerung des Verdichtungsverhältnisses führt.

Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses:

Durch die Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses ϵ wird die Motorleistung gesteigert.

Die Höhverdichtung wird begrenzt durch Kraftstoffeigenschaften und die Konstruktion des Motors.

Das Verdichtungsverhältnis kann erhöht werden, durch eine Verkleinerung des Verdichtungsraumes oder eine Vergrößerung des Hubraumes.

Folgende Maßnahmen bewirken eine Verkleinerung des Verdichtungsraumes:

- Der Einbau von Kolben mit größerer Kompressionshöhe (**Bild 1**),
- Einbau einer dünneren Zylinderkopfdichtung,
- Das Abschleifen von Zylinder (**Bild 2**) oder Zylinderkopf.

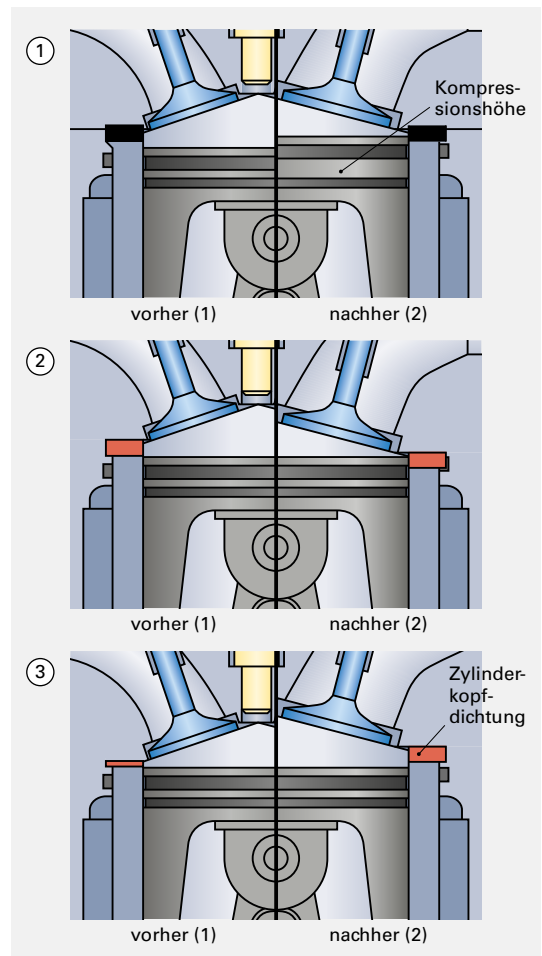
Das Aufbohren des Zylinders bewirkt eine Hubraumvergrößerung.

Verringerung des Verdichtungsverhältnisses:

Durch die Verringerung des Verdichtungsverhältnisses wird die Motorbelastung reduziert und die Klopfneigung von Benzinmotoren verringert. Allerdings sinkt dadurch die Motorleistung, wogegen der Kraftstoffverbrauch steigt.

Eine Verringerung des Verdichtungsverhältnisses wird am einfachsten erreicht durch den Einbau einer dickeren Zylinderkopfdichtung (**Bild 3**). Dadurch wird der Verdichtungsraum vergrößert.

Je nachdem, ob es zu einer Erhöhung oder zu einer Verringerung des Verdichtungsverhältnisses kommt, ist die entsprechende Formel auszuwählen.



Verdichtungserhöhung

$$s' = \frac{s}{\varepsilon_1 - 1} - \frac{s}{\varepsilon_2 - 1}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{s \cdot (\varepsilon_1 - 1)}{s - s' \cdot (\varepsilon_1 - 1)} + 1$$

Verdichtungsverringering

$$s' = \frac{s}{\varepsilon_2 - 1} - \frac{s}{\varepsilon_1 - 1}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{s \cdot (\varepsilon_1 - 1)}{s + s' \cdot (\varepsilon_1 - 1)} + 1$$

s	Hub in cm
s'	Änderung der Höhe des Verdichtungsraumes in cm
ε_1	Verdichtungsverhältnis vor der Verdichtungsänderung
ε_2	Verdichtungsverhältnis nach der Verdichtungsänderung
V_{c1}	Verdichtungsraum in cm^3 vor der Verdichtungsänderung
V_{c2}	Verdichtungsraum in cm^3 nach der Verdichtungsänderung
V_c	Änderung des Verdichtungsraumes in cm^3 (Zu- oder Abnahme)

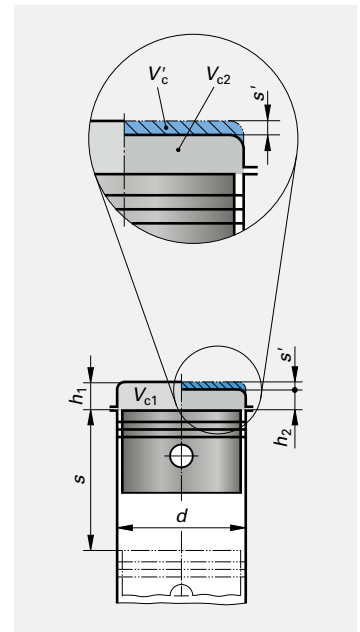
Beispiel

Ein Motor mit $s = 93$ mm Hub soll von $\varepsilon_1 = 10,8$ auf $\varepsilon_2 = 12$ verdichtet werden.

Wie viele Millimeter s' müssen vom Zylinderkopf abgefräst werden?

Gesucht: s' Gegeben: $s = 93$ mm = 9,3 cm; $\varepsilon_1 = 10,8$; $\varepsilon_2 = 12$

Lösung $s' = \frac{s}{\varepsilon_1 - 1} - \frac{s}{\varepsilon_2 - 1} = \frac{9,3 \text{ cm}}{10,8 - 1} - \frac{9,3 \text{ cm}}{12 - 1} = 0,949 \text{ cm} - 0,845 = 0,104 \text{ cm} = \mathbf{1,04 \text{ mm}}$

**Aufgaben**

- Das Verdichtungsverhältnis ε eines Ottomotors soll zur Leistungssteigerung von $\varepsilon_1 = 8,9$ auf $\varepsilon_2 = 10$ erhöht werden. Der Hub s beträgt 78 mm.
Wie viele mm müssen vom Zylinderkopf abgefräst werden?
- Welches Verdichtungsverhältnis ergibt sich, wenn bei einem Motor mit einem Hub von 50 mm und einem Verdichtungsverhältnis von 11 eine um 0,8 mm dickere Zylinderkopfdichtung eingebaut wird?
- Weil der Zylinderkopf eines Motors verzogen war, musste vom Zylinderkopf 1,0 mm abgefräst werden. Das Verdichtungsverhältnis betrug vor der Reparatur 12,5, der Hub 86 mm, die Bohrung ebenfalls 86 mm.
 - Wie groß ist das Verdichtungsverhältnis, nachdem der Zylinderkopf bearbeitet wurde?
 - Wie groß war der Verdichtungsraum vor der Reparatur?
- Bei einem Motor soll das Verdichtungsverhältnis von 11,2 auf 9 verringert werden, weil ein Turbolader nachgerüstet werden soll. Der Hub beträgt 61 mm.
Um wie viele mm muss die Zylinderkopfdichtung dicker sein?
- Bei der Überholung eines Motors wurde der Zylinderdurchmesser eines Oldtimers um 1 mm auf 90 mm erhöht. Der Hub beträgt 85,5 mm, der Verdichtungsraum $61,8 \text{ cm}^3$.
Um wie viele mm muss die Zylinderkopfdichtung dicker sein, um das alte Verdichtungsverhältnis von 9,6 wieder herzustellen?
- Ein Sechszylinder-Ottomotor hat einen Motorhubraum von 2495 cm^3 , einen Hub von 71,6 mm und einen Verdichtungsraum von 52 cm^3 . Das Verdichtungsverhältnis soll um 0,6 erhöht werden.
 - Wie groß ist der Zylinderdurchmesser?
 - Wie groß ist das Verdichtungsverhältnis?
 - Wie viele mm muss die einzubauende Zylinderkopfdichtung dünner sein?

Lösungen

1) 1,21 mm | **2)** 9,62 | **3a)** 14,28; **3b)** $43,4 \text{ cm}^3$ | **4)** 1,65 mm | **5)** 0,23 mm | **6a)** 86,00 mm; **6b)** 8,99; **6c)** 0,62 mm

Aufgaben

- 1** Der Motor eines VW 1.0 TFS i besitzt einen Hub $s = 76,4$ mm. Wie groß ist die mittlere Kolbengeschwindigkeit v_m bei einer Motordrehzahl $n = 5500$ 1/min?
- 2** Eine BMW 1000 RR hat ihre maximale Leistung von 156 kW bei einer Drehzahl von 14500 1/min.
- Wie groß ist bei dieser Drehzahl die mittlere Kolbengeschwindigkeit, wenn der Hub 49,7 mm beträgt?
 - Wie groß ist dabei die maximale Kolbengeschwindigkeit?
 - Wie hoch darf die Drehzahl sein, wenn eine mittlere Kolbengeschwindigkeit von 20 m/s nicht überschritten werden soll?
- 3** Ein Mercedes Actros hat sein höchstes Motor Drehmoment von 3000 Nm ab einer Drehzahl von 1100 1/min.
- Wie groß ist die mittlere Kolbengeschwindigkeit bei dieser Drehzahl, wenn der Hub 171 mm beträgt?



- 4** Wegen des Gemischbildungsprozesses und der damit verbundenen Verbrennung sind die Drehzahlen von Common-Rail Motoren meist auf ca. 4500 1/min ... 5000 1/min begrenzt.
- Wie groß darf der Hub eines CR-Diesels sein, wenn eine Drehzahl von 4750 1/min und eine mittlere Kolbengeschwindigkeit von 16 m/s nicht überschritten werden soll?

- 5** Ein Toyota GT86 erreicht seine maximale Leistung bei einer Drehzahl von 7000 1/min.
- Wie groß ist die maximale Kolbengeschwindigkeit, wenn der Hub des Motors 86 mm beträgt?
- 6** Ein Ford Mustang erreicht bei 6500 1/min eine mittlere Kolbengeschwindigkeit von 20,15 m/s.
- Wie groß ist der Hub?



- 7** Der Motor eines Porsche GT3 besitzt einen Hub von 102,0 mm.
- Welche Drehzahl dürfte nicht überschritten werden, wenn eine mittlere Kolbengeschwindigkeit von 20,0 m/s eingehalten werden sollte?
 - Welche mittlere Kolbengeschwindigkeit ergibt sich bei einer Nenndrehzahl von 8400 1/min?
 - Wie hoch ist dabei die maximale Kolbengeschwindigkeit?
 - Geben Sie die maximale Kolbengeschwindigkeit bei 8400 1/min in km/h an.
 - Welche Zeit steht zur Verfügung, um den Kolben bei Nenndrehzahl von OT auf die maximale Kolbengeschwindigkeit zu beschleunigen? (Es wird angenommen, dass die maximale Kolbengeschwindigkeit in der Mitte des Hubes erreicht wird.)



Lösungen

1) 14,0 m/s | **2a)** 24,0 m/s; **2b)** 38,4 m/s; **2c)** 12072 1/min | **3)** 6,3 m/s | **4)** 101 mm | **5)** 32,1 m/s | **6)** 93 mm | **7a)** 5882 1/min; **7b)** 28,6 m/s; **7c)** 45,7 m/s; **7d)** 164,5 km/h; **7e)** 0,0018 s

1.3 KURBELTRIEB

1.3.1 VERBRENNUNGSDRUCK UND KOLBENKRAFT

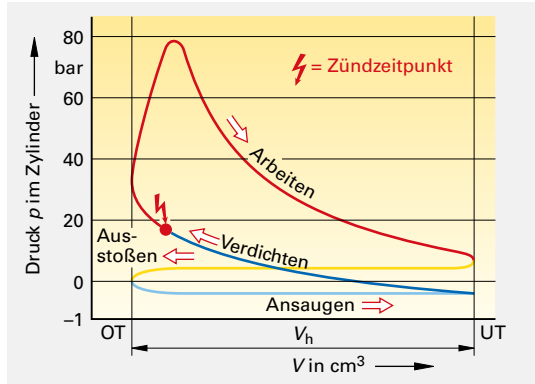
Während des Motorlaufs hängt der momentan herrschende Verbrennungsdruck im Zylinder ab ...

- vom Lastzustand des Motors.
- von der Motordrehzahl n .
- von der Kurbelwellenstellung (Kurbelwinkel α).

Kolbenkraft F . Sie wird durch den Verbrennungsdruck p auf der Oberfläche A des Kolbenbodens (Kolbenoberseite) erzeugt.

Verbrennungsdruck p . Er kann durch im Brennraum installierte Sensoren aufgezeichnet werden.

Das nebenstehende Diagramm zeigt den Verlauf des Verbrennungsdrucks eines Otto-Saugmotors. Hier ist die jeweilige Kolbenposition (Weg) dargestellt für zwei Umdrehungen der Kurbelwelle.



F	Kraft in N	p	Druck in N/cm ²
A	Kolbenfläche in cm ²	d	Kolbendurchmesser in cm

$$F = A \cdot p \quad p = \frac{F}{A} \quad A = \frac{F}{p}$$

$$1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \quad 1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Beispiel

Bei einem Einzylindermotor beträgt der Kolbendurchmesser 78 mm. Bei Volllast wird ein Verbrennungshöchstdruck von 48 bar erreicht.

Berechnen Sie die maximale Kolbenkraft bei Volllast.

Gesucht: Kolbenkraft F

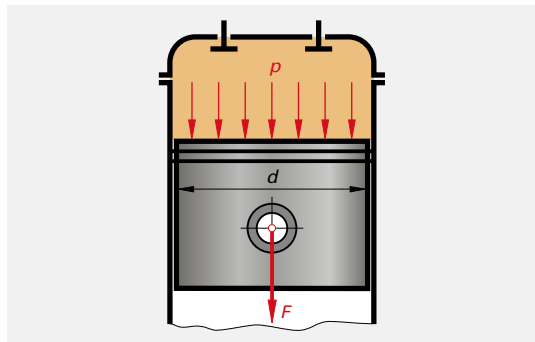
Gegeben: $d = 78 \text{ mm} = 7,8 \text{ cm}$; $p = 48 \text{ bar}$

Lösung

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 7,8^2 \text{ cm}^2}{4} = 47,78 \text{ cm}^2$$

$$F = p \cdot A = 48 \text{ bar} \cdot 47,78 \text{ cm}^2 = 480 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot 47,78 \text{ cm}^2$$

$$F = 22934,4 \text{ N}$$

**Aufgaben**

- Auf einen Kolben mit einem Durchmesser d von 80 mm wirkt eine Kolbenkraft F von 4200 N. Wie groß ist der Verbrennungsdruck in bar und in MPa?
- Der Kolben eines Ottomotors hat einen Durchmesser von 75 mm. Der Verbrennungsdruck beträgt 55 bar. Berechnen Sie die Kolbenkraft.
- Ein Dieselmotor ist mit einem Abgasturbolader ausgerüstet. Der Verbrennungsdruck erreicht bei Volllast 98 bar. Die Zylinderbohrung beträgt 128 mm.
 - Ermitteln Sie die Kolbenkraft.
 - Berechnen Sie die Kolbenkraft, wenn zur Leistungssteigerung der Zylinder um 2 mm aufgebohrt wird.
 - Wie groß ist der prozentuale Kolbenkraftzuwachs?

Lösungen

1) 8,36 bar; 0,836 MPa | 2) 24299 N | 3a) 126106,4 N; 3b) 130075,4 N; 3c) 3,15%

1.3.2 KRÄFTE AM KURBELTRIEB

Der **Kurbeltrieb** ist die zentrale mechanische Baugruppe des Hubkolbenmotors. Er besteht aus dem **Kolben**, der **Pleuelstange** und der **Kurbelwelle**. Er hat die Aufgabe, die Auf- und Abbewegung des Kolbens in eine Drehbewegung der Kurbelwelle umzuwandeln.

Der Verbrennungsdruck bewirkt eine Druckkraft, die senkrecht auf den Kolbenboden wirkt. Mithilfe des Pleuels wird diese Druckkraft als Tangentialkraft auf den Kurbelzapfen der Kurbelwelle übertragen und erzeugt dort ein Drehmoment.

Am Kurbeltrieb treten folgende Kräfte auf:

Kolbenkraft F : Sie ergibt sich aus der Kolbenfläche A und dem Verbrennungsdruck p . Für die weiteren Berechnungen wird sie in die Seitenkraft und die Pleuelstangenkraft aufgeteilt.

Seitenkraft (Normalkraft) F_N : Sie wirkt senkrecht vom Kolben auf die Zylinderwand. Sie bewirkt einen Verschleiß der Zylinderlauffläche.

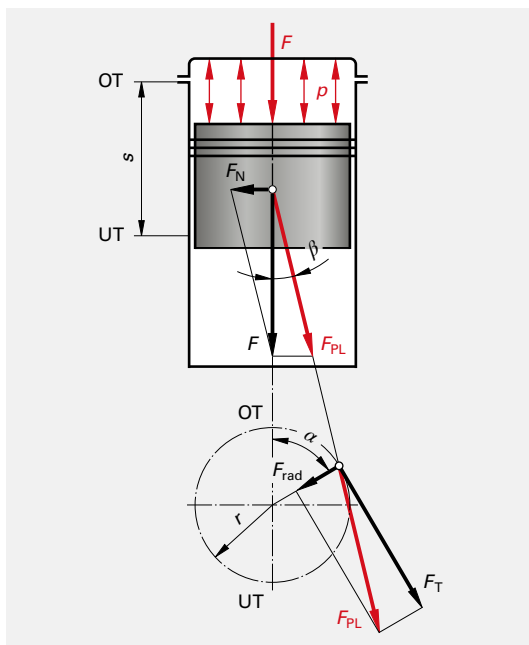
Pleuelstangenkraft F_{Pl} : Sie wird vom Pleuel am Kolbenbolzen aufgenommen und am Kurbelzapfen abgegeben. Sie wird aufgeteilt in Tangentialkraft und Radialkraft.

Tangentialkraft (Drehkraft) F_T : Sie greift tangential zum Kurbelkreis am Pleuellager an. Ihre Wirkungslinie steht senkrecht zum Kurbelzapfen. Sie erzeugt das Drehmoment an der Kurbelwelle.

Radialkraft F_R : Sie ist radial auf die Kurbelwellenlagerung gerichtet. Sie bewirkt einen Verschleiß der Lager.

Die folgenden Formeln ermöglichen es, für jede Kurbelwellenposition (angegeben in °KW) die momentan wirkenden Kräfte an den Komponenten des Kurbeltriebs und das daraus resultierende Drehmoment zu berechnen.

A	Kolbenfläche in cm^2
p	Gasdruck in cm^2
F	Kolbenkraft in N
F_N	Normalkraft (Seitenkraft) in N
F_{Pl}	Pleuelstangenkraft in N
F_{rad}	Radialkraft in N
F_T	Tangentialkraft in N
l	Pleuelstangenlänge in m
r	Kurbelradius in m
λ_{Pl}	Pleuelstangenverhältnis ($\lambda_{Pl} = r/l$)
M	Drehmoment in Nm
α	Kurbelwinkel in °
β	Pleuelstangenwinkel in °



$$F = A \cdot p$$

$$F_{rad} = \frac{F \cdot \cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$$

$$F_N = F \cdot \tan \beta$$

$$M_T = F_T \cdot r$$

$$F_{Pl} = \frac{F}{\cos \beta}$$

$$\sin \beta = \frac{r \cdot \sin \alpha}{l}$$

$$F_T = \frac{F \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$$

$$\sin \beta = \lambda_{Pl} \cdot \sin \alpha$$

$$1 \text{ bar} = 10 \text{ N/cm}^2$$

$$1 \text{ N/cm}^2 = 0,1 \text{ bar}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

Beispiel

An einem Kubeltrieb wirkt bei einem Kurbelwinkel von $\alpha = 45^\circ$ eine Kolbenkraft von $F = 5000 \text{ N}$. Die Pleuelstangenlänge beträgt $l = 80 \text{ mm}$, der Kurbelradius ist $r = 20 \text{ mm}$. Ermitteln Sie:

- a) den Pleuelstangenwinkel β , b) die Seitenkraft F_N , c) die Pleuelstangenkraft F_{Pl}
 d) die Tangentialkraft F_T , e) das Drehmoment M an der Kurbelwelle

Lösung

a) Gesucht: β

Gegeben: $\alpha = 45^\circ$, $r = 20 \text{ mm}$, $l = 80 \text{ mm}$

$$\text{Formel: } \sin \beta = \frac{r \cdot \sin \alpha}{l} = \frac{20 \text{ mm} \cdot \sin 45^\circ}{80 \text{ mm}} = \frac{20 \text{ mm} \cdot 0,707}{80 \text{ mm}} = 0,177 \Rightarrow \beta = 10,2^\circ$$

b) Gesucht: F_N

Gegeben: $F = 5000 \text{ N}$, $\beta = 10,2^\circ$

$$\text{Formel: } F_N = F \cdot \tan \beta = 5000 \text{ N} \cdot \tan 10,2^\circ = \mathbf{899,64 \text{ N}}$$

c) Gesucht: F_{Pl}

Gegeben: $F = 5000 \text{ N}$, $\beta = 10^\circ$

$$\text{Formel: } F_{Pl} = \frac{F}{\cos \beta} = \frac{5000 \text{ N}}{\cos 10,2^\circ} = \frac{5000 \text{ N}}{0,9848} = \mathbf{5077 \text{ N}}$$

d) Gesucht: F_T

Gegeben: α , β

$$\text{Formel: } F_T = \frac{F \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} = \frac{5000 \text{ N} \cdot \sin(45^\circ + 10,2^\circ)}{\cos 10,2^\circ} = \frac{5000 \text{ N} \cdot 0,8192}{0,9842} = \mathbf{4171,68 \text{ N}}$$

e) Gesucht: M

Gegeben: $F_T = 4171,68 \text{ N}$, $r = 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}$

$$\text{Formel: } M = F_T \cdot r = 4171,68 \text{ N} \cdot 0,02 \text{ m} = \mathbf{83,42 \text{ Nm}}$$

Aufgaben

1 Von einem Einzylinder-Motor sind folgende Daten bekannt:

Kolbendurchmesser 87 mm, Hub 88 mm,
Pleuelstangenlänge 176 mm

Kurbelwinkel 30° , Kolbendruck 35 bar. Berechnen Sie ...

- a) den Kurbelradius. b) den Pleuelstangenwinkel.
 c) die Kolbenkraft. d) die Seitenkraft.
 e) die Pleuelstangenkraft. f) die Tangentialkraft.
 g) die Radialkraft. h) das Drehmoment.
 i) Überprüfen Sie die Ergebnisse durch eine graphische Lösung.
 (Kräftemaßstab: 1 mm = 400 N, Längenmaßstab: 1 mm = 2 mm)



2 Von dem Vierzylindermotor eines Oldtimers sind folgende Kenngrößen gegeben: Gesamthubraum 1998 cm^3 , Hub 91 mm, Pleuelstangenlänge 180 mm. Aus einem Messprotokoll geht hervor, dass bei einem Kurbelwinkel von 20° der Verbrennungshöchstdruck 50 bar beträgt. Bestimmen Sie ...

- a) den Hubraum b) die Bohrung, c) den Pleuelstangenwinkel, d) die Kolbenkraft,
 eines Zylinders,
 e) Pleuelstangenkraft, f) die Tangentialkraft, g) die Radialkraft, h) das Drehmoment.

Lösungen

1a) 44 mm; **1b)** $7,18^\circ$; **1c)** 20807,5 N; **1d)** 2621,22 N; **1e)** 20971,95 N; **1f)** 12673,79 N; **1g)** 16709,21 N;
1h) 557,65 Nm | **2a)** $499,5 \text{ cm}^3$; **2b)** 83,59 mm; **2c)** $4,96^\circ$; **2d)** 27440 N; **2e)** 27543,14 N; **2f)** 11622,8 N;
2g) 24970,68 N; **2h)** 528,84 Nm

1.4 STEUERZEITEN, STEUERWINKEL, VENTILÖFFNUNGSZEIT

Nockenwellen. Sie betätigen die Ein- und Auslassventile des Motors. Die Nockenform legt fest, wann ein Ventil öffnet und wann es wieder schließt. Damit ist auch die Öffnungsdauer festgelegt.

Steuerwinkel. Die Öffnungs- bzw. Schließpunkte der Einlass- und Auslassventile werden in der Motortechnik als Winkelangabe in „Grad Kurbelwinkel“ (°KW) angegeben. Sie beziehen sich jeweils auf den oberen oder unteren Totpunkt (OT, UT).

Motorsteuerdiagramm. Diese Graphik stellt zwei Kurbelwelleumdrehungen in Form von zwei Kreisen oder als Spirale dar. In dem Diagramm sind die Öffnungs- und Schließpunkte, der Zündzeitpunkt und – bei Saugmotoren – die Ventilüberschneidung eingetragen.

So werden die Vorgänge während der vier Takte eines Arbeitsspiels anschaulich dargestellt.

α	Winkel in °, z.B. Öffnungs- oder Schließwinkel
α_E	Öffnungswinkel des Einlassventils in °
α_A	Öffnungswinkel des Auslassventils in °
$\alpha_{\bar{U}}$	Ventilüberschneidung in °
l_B	Bogenlänge in mm, gemessen auf dem Umfang des Schwungrades
d	Durchmesser des Kreises in mm, auf dem sich die Einstellmarkierung befindet
t	Zeit in s, z.B. Ventilöffnungszeit
t_1	Ventilöffnungszeit je Minute Motorlaufzeit
n	Motordrehzahl in 1/min

Beispiel

An einem Viertaktmotor öffnet das Einlassventil 15° vor OT und schließt 40° nach UT. Der Durchmesser des Schwungrades beträgt 380 mm.

Berechnen Sie ...

- den Öffnungswinkel des Einlassventils.
- die Bogenlänge auf der Schwungscheibe, gemessen von Eö bis Es.

Gesucht: a) α_E in °,

b) l_B in mm

Gegeben: $d = 380$ mm

Lösung

$$\text{a) } \alpha_E = \alpha_{E\bar{O}} + 180^\circ + \alpha_{E_s} = 15^\circ + 180^\circ + 40^\circ$$

$$\alpha_E = \mathbf{235^\circ}$$

$$\text{b) } l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ} = \frac{\pi \cdot 380 \text{ mm} \cdot 235^\circ}{360^\circ}$$

$$l_B = \mathbf{779,29 \text{ mm}}$$



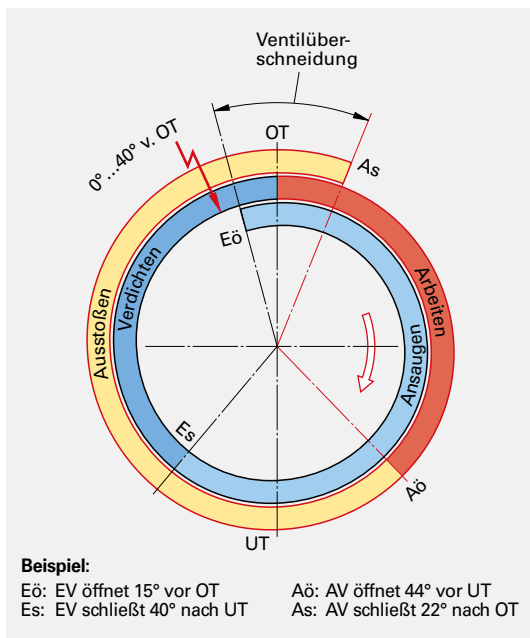
$$\alpha_E = \alpha_{E\bar{O}} + 180^\circ + \alpha_{E_s}$$

$$\alpha_A = \alpha_{A\bar{O}} + 180^\circ + \alpha_{A_s}$$

$$\alpha_{\bar{U}} = \alpha_{E\bar{O}} + \alpha_{A_s}$$

$$l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ}$$

Eö	Einlassventil öffnet
Es	Einlassventil schließt
Aö	Auslassventil öffnet
As	Auslassventil schließt
OT	oberer Totpunkt
UT	unterer Totpunkt



1.5 MOTORLEISTUNG

1.5.1 MOTOR-INNENLEISTUNG

Innenleistung P_i . Sie hängt bei Hubkolbenmotoren im wesentlichen von der inneren **Kolbenkraft F_i** und der mittleren **Kolbengeschwindigkeit v_m** während des Arbeitstaktes ab. Die anderen Takte tragen nicht zur inneren Leistung bei.

Im Gegenteil: Zum Ansaugen, Verdichten und Ausstoßen wird Leistung benötigt.

Bei Mehrzylindermotoren vervielfacht sich die Innenleistung entsprechend der **Zylinderanzahl z** .

Bei Viertakt-Motoren ist nur jeder vierte, bei Zweitakt-Motoren jeder zweite Takte ein Arbeitstakt. Dies wird in der Leistungsformel durch die **Kennzahl für das Arbeitsverfahren x** berücksichtigt.

Der Faktor 1000 im Nenner der Leistungsformel berücksichtigt, dass die Innenleistung von Motoren üblicherweise nicht in Watt (W), sondern in Kilowatt (kW) angegeben wird.

Beispiel

Auf die vier Kolben eines Viertakt-Ottomotors wirkt während des Arbeitstaktes eine mittlere Kolbenkraft von $F_i = 5200 \text{ N}$. Die mittlere Kolbengeschwindigkeit liegt bei $v_m = 13,4 \text{ m/s}$.

Berechnen Sie die Innenleistung des Motors.

Gesucht: P_i

Gegeben: $F_i = 5200 \text{ N}$, $v_m = 13,4 \text{ m/s}$

Lösung

$$P_i = \frac{F_i \cdot v_m \cdot z}{x \cdot 1000} = \frac{5200 \text{ N} \cdot 13,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4}{4 \cdot 1000} = \mathbf{68,84 \text{ kW}}$$

Die Motorleistung kann auch aus der Kolbenfläche A und dem mittleren inneren Kolbendruck p_i berechnet werden:

Wenn man für die innere Kolbenkraft „ F_i “ in die oben stehende Formel „ $A \cdot p_i$ “ und für die mittlere Kolbengeschwindigkeit „ v_m “ entsprechend „ $2 \cdot s \cdot n/60$ “ einsetzt, so ergibt sich die nebenstehende Formel.

Der Faktor 3000 im Nenner dient zur Angleichung der Einheiten.

Berücksichtigt man, dass „ $A \cdot s \cdot z$ “ dem Gesamthubraum „ V_H “ entspricht, so erhält man eine vereinfachte Formel für die Innenleistung P_i (nächste Seite).



$$P_i = \frac{F_i \cdot v_m \cdot z}{x \cdot 1000}$$

$$F_i = \frac{x \cdot 1000 \cdot P_i}{v_m \cdot z}$$

P_i	Innenleistung (indizierte Leistung) in kW
v_m	mittlere Kolbengeschwindigkeit in m/s
F_i	innere Kolbenkraft in N
x	Kennzahl für das Arbeitsverfahren $x = 2$ für Zweitaktmotoren $x = 4$ für Viertaktmotoren
z	Zylinderzahl
s	Hub in m
A	Kolbenfläche in cm^2
p_i	mittlerer innerer Kolbendruck in bar
V_H	Gesamthubraum im dm^3

$$P_i = \frac{A \cdot s \cdot z \cdot p_i \cdot n}{x \cdot 3000}$$

$$p_i = \frac{x \cdot 3000 \cdot P_i}{A \cdot s \cdot z \cdot n}$$

$$A = \frac{x \cdot 3000 \cdot P_i}{s \cdot z \cdot p_i \cdot n}$$

$$n = \frac{x \cdot 3000 \cdot P_i}{A \cdot s \cdot z \cdot p_i}$$

$$s = \frac{x \cdot 3000 \cdot P_i}{A \cdot z \cdot p_i \cdot n}$$

Beispiel

Ein Dreizylinder-Viertaktmotor hat einen Gesamthubraum von $V_H = 1497 \text{ cm}^3$. Bei Volllast beträgt der mittlere innere Kolbendruck $p_i = 10,2 \text{ bar}$ bei einer Motordrehzahl von $n = 5700 \text{ 1/min}$.

Wie groß ist die Innenleistung des Motors?

Gesucht: P_i in kW

Gegeben: $V_H = 1497 \text{ cm}^3$; $n = 5700 \text{ 1/min}$

Lösung

$$P_i = \frac{V_H \cdot p_i \cdot n}{x \cdot 300} = \frac{1,497 \text{ dm}^3 \cdot 10,2 \text{ bar} \cdot 5700 \text{ 1/min}}{x \cdot 300} = \mathbf{72,53 \text{ kW}}$$

$$P_i = \frac{V_H \cdot p_i \cdot n}{x \cdot 300}$$

$$V_H = \frac{x \cdot 300 \cdot P_i}{p_i \cdot n}$$

$$p_i = \frac{x \cdot 300 \cdot P_i}{V_H \cdot n}$$

$$n = \frac{x \cdot 300 \cdot P_i}{V_H \cdot p_i}$$

Aufgaben

- 1 Ein Vierzylinder-Viertaktmotor hat einen Hub s von 80,2 mm und einen Zylinderdurchmesser d von 81,5 mm. Bei einer Motordrehzahl n von 5800 1/min beträgt der mittlere innere Kolbendruck $p_i = 9,8 \text{ bar}$. Berechnen Sie die Innenleistung P_i des Motors.
- 2 Die Innenleistung eines 2,2-Liter Pkw-Viertakt-Motors beträgt $P_i = 105 \text{ kW}$ bei einem mittleren Kolbendruck von $p_i = 10,8 \text{ bar}$. Berechnen Sie die zugehörige Motordrehzahl n in min^{-1} .
- 3 Ein Geländemotorrad ist mit einem Einzylinder-Zweitakt-Motor ausgerüstet. Die Zylinderquerschnittsfläche beträgt $22,5 \text{ mm}^2$, der Hub 48 mm. Der mittlere innere Kolbendruck liegt bei 10,2 bar, die Motordrehzahl beträgt 11250 1/min. Berechnen Sie die Innenleistung.
- 4 Von einem Sechszylinder-Viertaktmotor sind folgende Daten bekannt:
Innenleistung 100 kW
Motordrehzahl 5400 1/min
Zylinderbohrung 89 mm Hub 62 mm
Wie groß ist der mittlere innere Kolbendruck in bar, N/cm², Pa?
- 5 Ein Vierzylinder-Viertakt-Dieselmotor ist mit einem Abgasturbolader ausgerüstet. Der mittlere innere Kolbendruck erreicht bei Volllast 11 bar. Die Zylinderbohrung beträgt 98 mm, der Hub 94 mm.
Berechnen Sie die Innenleistung bei einer Drehzahl von 4300 1/min.
- 6 Der Dreizylinder-Zweitaktmotor eines Oldtimers hat einen Zylinderdurchmesser von 81,2 mm und einen Hub von 75,8 mm. Der mittlere innere Kolbendruck beträgt 7,92 bar. Die Motordrehzahl liegt bei 4600 1/min.
Berechnen Sie die Innenleistung des Motors.
- 7 Von dem Sechszylinder-Viertakt-Dieselmotor eines Lkw sind folgende Daten bekannt:
 $P_i = 178 \text{ kW}$ $n = 2100 \text{ 1/min}$
 $s = 142 \text{ mm}$ $p_i = 9,98 \text{ bar}$
Berechnen Sie ...
a) den Zylinderquerschnitt.
b) den Zylinderdurchmesser.
c) den Gesamthubraum.

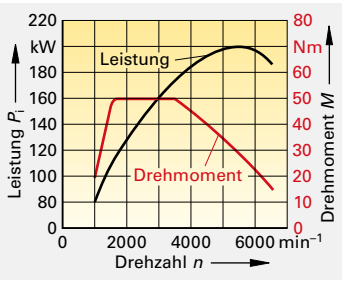
Lösungen

1a) 79,27 kW | 2) 5303,03 1/min | 3) 20,66 kW | 4) 9,6 bar | 5) 111,8 kW | 6) 71,5 kW | 7a) 119,62 cm²;
7b) 123,41 mm; 7c) 10,192 dm³

1.5.2 MOTOR-NUTZLEISTUNG

Nutzleistung P_{eff} . Sie ist die effektive Motorleistung, die von der Schwungscheibe an den Antriebsstrang abgegeben wird. Aufgrund von mechanischen Verlusten, z. B. Reibung im Inneren des Motors, ist P_{eff} geringer als die innere Leistung P_i . Die Nutzleistung ist abhängig vom Drehmoment M und der Drehzahl n des Motors.

Zur Veranschaulichung des Betriebsverhaltens werden die Kennlinien von P_i und M in Abhängigkeit von der Drehzahl n in einem Diagramm dargestellt.



Der Faktor 9550 im Nenner der Leistungsformel dient der Angleichung der Einheiten.

Beispiel

Ein Motor erreicht bei einer Drehzahl von 4400 1/min sein maximales Drehmoment von 290 Nm. Berechnen Sie die Nutzleistung.

Gesucht: P_{eff} in kW

Gegeben: $n = 4400$ 1/min; $M = 290$ Nm

Lösung

$$P_{\text{eff}} = \frac{M \cdot n}{9550} = \frac{290 \text{ Nm} \cdot 4400 \text{ 1/min}}{9550} = \mathbf{133,61 \text{ kW}}$$

$$P_{\text{eff}} = \frac{M \cdot n}{9550}$$

$$M = \frac{9550 \cdot P_{\text{eff}}}{n} \quad n = \frac{9550 \cdot P_{\text{eff}}}{M}$$

P_{eff}	Nutzleistung (effektive Leistung) in kW
M	Drehmoment in Nm
n	Motordrehzahl in min^{-1}

1.5.3 MECHANISCHE VERLUSTLEISTUNG, MECHANISCHER WIRKUNGSGRAD

Mechanische Verlustleistung P_{V_m} . Sie beschreibt den Leistungsanteil, der zur Überwindung der inneren Reibung (Kolben, Lager) und zum Antrieb von Nebenaggregaten (wie Motorsteuerung, Öl-Pumpe, Ausgleichswellen,...) benötigt wird.

Mechanischer Wirkungsgrad η_m . Er ist das Verhältnis der Nutzleistung P_{eff} am Schwungrad zur inneren Leistung P_i aus der Verbrennung.

Beispiel

Ein Verbrennungsmotor gibt an der Kurbelwelle eine Nutzleistung von $P_{\text{eff}} = 78$ kW ab. Die berechnete Innenleistung beträgt $P_i = 89$ kW. Berechnen Sie den mechanischen Wirkungsgrad.

Gesucht: η_m

Gegeben: $P_{\text{eff}} = 78$ kW; $P_i = 89$ kW

Lösung

$$\eta_m = \frac{P_{\text{eff}}}{P_i} = \frac{78 \text{ kW}}{89 \text{ kW}} = \mathbf{0,88}$$

$$P_{V_m} = P_i - P_{\text{eff}}$$

$$P_{\text{eff}} = P_i - P_{V_m} \quad P_i = P_{\text{eff}} + P_{V_m}$$

$$\eta_m = \frac{P_{\text{eff}}}{P_i}$$

$$P_i = \frac{P_{\text{eff}}}{\eta_m} \quad P_{\text{eff}} = \eta_m \cdot P_i$$

P_{V_m}	Mechanische Verlustleistung in kW
P_i	Innenleistung (indizierte Leistung) in kW
P_{eff}	Nutzleistung (effektive Leistung) in kW
η_m	mechanischer Wirkungsgrad

Aufgaben

- Ein Pkw-Motor hat ein Drehmoment M von 242 Nm bei einer Drehzahl n von 4300 1/min. Berechnen Sie die Nutzleistung P_{eff} in kW.
- Bei einer Drehzahl von $n = 5700$ 1/min gibt ein Motor eine Nutzleistung von $P_{\text{eff}} = 98$ kW ab. Berechnen Sie das Drehmoment M in Nm.
- Ein Motorradmotor hat bei einer Nutzleistung P_{eff} von 21 kW ein Drehmoment M von 58 Nm. Wie groß ist die Motordrehzahl n in 1/min?
- Ein Motor hat bei einer Drehzahl von 2400 1/min sein größtes Drehmoment, bei 5700 1/min die größte Nutzleistung. Berechnen Sie ...
 - die Nutzleistung beim größten Drehmoment.
 - das Drehmoment bei der größten Nutzleistung.
- Ein Motor hat eine Nutzleistung von 121 kW, die Innenleistung beträgt 133 kW. Berechnen Sie den mechanischen Wirkungsgrad.
- Die Innenleistung eines Motors beträgt 90 kW, die mechanische Verlustleistung liegt bei 8,5% der Innenleistung. Wie groß sind
 - die mechanische Verlustleistung?
 - die Nutzleistung?
 - der mechanische Wirkungsgrad?

Lösungen

1) 108,96 kW | 2) 164,19 Nm | 3) 3457,76 1/min | 4a) 59,56 kW; 4b) 221,15 Nm | 5) 0,91 | 6a) 7,65 kW; 6b) 82,35 kW; 6c) 0,915