

<b>1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>9</b>			
<b>2</b>	<b>Überblick .....</b>	<b>10</b>			
	2.1 Geschichtlicher Überblick.....	10			
	2.2 Eigenschaften .....	11			
	2.3 Probleme .....	13			
	2.3.1 Umweltprobleme .....	13			
	2.3.2 Kraftstoffe .....	14			
	2.4 Zukunftsaussichten .....	14			
	2.5 Einteilung der Verbrennungsmotoren .....	15			
<b>3</b>	<b>Thermodynamische Grundlagen .....</b>	<b>20</b>			
	3.1 Kreisprozesse .....	20			
	3.1.1 Carnot-Prozess .....	21			
	3.1.2 Gleichraumprozess.....	22			
	3.1.3 Gleichdruckprozess .....	24			
	3.1.4 Seiliger-Prozess (Gemischter Prozess)...	25			
	3.1.5 Vergleich der Kreis- prozesse .....	28			
	3.2 Verluste des vollkommenen Motors.....	28			
	3.3 Vergleich des wirklichen Prozesses mit dem des vollkommenen Motors .....	29			
	3.4 Gütegrad .....	30			
	3.5 Energiebilanz .....	32			
<b>4</b>	<b>Kinematik, Kräfte und Momente im Motor .....</b>	<b>34</b>			
	4.1 Kinematik des Kurbeltriebes.....	34			
	4.2 Kräfte und Momente im Triebwerk.....	35			
	4.2.1 Kräfte und Momente im Einzylinder- triebwerk.....	35			
	4.2.2 Überlagerung von Gas- und Massenkräften .....	39			
	4.2.3 Einfachster Massen- ausgleich der Massen- kräfte I. Ordnung.....	40			
	4.2.4 Vollständiger Massenausgleich der Massenkräfte I. und II. Ordnung .....	41			
	4.3 Kräfte und Momente in Mehrzylindermotoren .....	41			
<b>5</b>	<b>Kenngrößen .....</b>	<b>49</b>			
	5.1 Hub/Bohrung .....	49			
	5.2 Leistung und Mitteldruck.....	50			
	5.3 Wirkungsgrade .....	52			
	5.4 Zylinderfüllung .....	56			
	5.5 Kolbengeschwindigkeit.....	57			
	5.6 Verdichtungsverhältnis .....	58			
	5.7 Weitere Kenngrößen .....	59			
	5.8 Kennfelder .....	61			
<b>6</b>	<b>Kraftstoffe.....</b>	<b>67</b>			
	6.1 Flüssige Kraftstoffe aus Erdöl.....	67			
	6.1.1 Eigenschaften der Kraftstoffe .....	69			
	6.1.2 Oktanzahl.....	73			
	6.1.3 Cetanzahl .....	74			

6.2	Gaskraftstoffe .....	75
6.3	Alternative Kraftstoffe .....	77
6.3.1	Alternative Kraftstoffe für Ottomotoren .....	78
6.3.2	Alternative Kraftstoffe für Dieselmotoren.....	79

## **7 Gemischbildung und Zündung..... 81**

7.1	Gemischbildung bei Ottomotoren	81
7.1.1	Äußere Gemisch- bildung durch Vergaser .....	81
7.1.2	Äußere Gemisch- bildung durch Einspritzung.....	83
7.1.3	Innere Gemischbildung durch Einspritzung .....	87
7.2	Zündung bei Ottomotoren .....	91
7.2.1	Arten der Zünd- systeme .....	92
7.2.2	Zündkerzen .....	95
7.3	Gemischbildung bei Dieselmotoren.....	96
7.3.1	Brennräume .....	96
7.3.2	Einspritzpumpen.....	97
7.3.3	Einspritzdüsen.....	105
7.3.4	Einspritzparameter .....	107

## **8 Ladungswechsel ..... 109**

8.1	Steuerzeiten .....	109
8.2	Nockenauslegung .....	110
8.3	Kennwerte des Nockens.....	115
8.4	Variable Ventilsteuerungen .....	116
8.4.1	Nockenwellenver- stellung.....	116
8.4.2	Ventilhubverstellung zweistufig.....	118
8.4.3	Ventilhubverstellung vollvariabel .....	120

## **9 Verbrennung..... 124**

9.1	Minimale Luftmenge und Heizwert.....	125
9.1.1	Gemischheizwert.....	126
9.1.2	Gemisch ansaugende Motoren .....	126
9.1.3	Luft ansaugende Motoren .....	127
9.1.4	Kennwerte.....	127
9.2	Verbrennung beim Ottomotor.....	129
9.3	Verbrennung beim Dieselmotor ..	130

## **10 Abgas und Abgasgrenzwerte ..... 135**

10.1	Entstehung der Schadstoffe .....	135
10.1.1	Ottomotor .....	135
10.1.2	Dieselmotor .....	137
10.2	Senkung der Emission von Ottomotoren .....	138
10.2.1	Innermotorische Maßnahmen .....	138
10.2.2	Außermotorische Maßnahmen .....	138
10.3	Senkung der Emissionen von Dieselmotoren.....	140
10.3.1	Innermotorische Maßnahmen .....	140
10.3.2	Außermotorische Maßnahmen .....	143
10.4	Abgasmessung und Abgasgesetzgebung.....	146

## **11 Leistungssteigerung..... 150**

11.1	Möglichkeiten der Leistungssteigerung.....	150
11.2	Aufladungsarten .....	154
11.2.1	Fremdaufladung .....	154
11.2.2	Mechanische Auf- ladung.....	154
11.2.3	Abgasturboaufladung (ATL).....	156
11.2.4	Druckwellenaufladung	169

11.3	Berechnung von aufgeladenen Motoren .....	170
11.3.1	Mechanische Aufladung und geänderte Atmosphäre .....	170
11.3.2	Abgasturboaufladung ..	171

## **12 Schmierung von Motoren..... 176**

12.1	Anforderungen und Aufgaben....	176
12.2	Grundöle .....	179
12.2.1	Mineralöle.....	179
12.2.2	Synthetische Flüssigkeiten.....	179
12.3	Additive für Motoröle.....	180
12.3.1	Viskositätsindexverbesserer.....	180
12.3.2	Detergent- und Dispersant-Zusätze.....	180
12.3.3	Reibungsverminderer und Verschleißschutz-zusätze .....	181
12.3.4	Schauminhibitoren.....	182
12.4	Viskositätsklassen für Motoröle..	182
12.5	Veränderungen des Motoröls im Betrieb .....	182
12.6	Ölversorgung des Motors .....	184
12.7	Ölwechsel.....	184

## **13 Bauteile von Motoren ..... 186**

13.1	Kurbelwelle.....	186
13.1.1	Aufbau.....	186
13.1.2	Gestaltung.....	187
13.1.3	Beanspruchungen .....	187

13.2	Pleuelstange .....	188
13.2.1	Aufbau.....	189
13.2.2	Beanspruchungen .....	189
13.2.3	Werkstoffe.....	190
13.3	Kolben.....	190
13.3.1	Aufbau.....	191
13.3.2	Beanspruchungen .....	191
13.3.3	Herstellung, Gestaltung.....	193
13.4	Kolbenringe .....	196
13.4.1	Kolbenringformen .....	197
13.4.2	Herstellung.....	198
13.4.3	Werkstoffe.....	199
13.5	Zylinder .....	200
13.5.1	Aufbau und Gestaltung	200
13.5.2	Belastung .....	201
13.5.3	Werkstoffe.....	201
13.6	Zylinderkopf .....	202
13.7	Ventile.....	203

## **Literaturverzeichnis ..... 206**

## **Sachwortverzeichnis ..... 209**