

ATZ/MTZ-Fachbuch

MAHLE GmbH *Hrsg.*

# Zylinder- komponenten

Eigenschaften · Anwendungen · Werkstoffe

*2. Auflage*

**MAHLE**

 Springer Vieweg

---

# ATZ/MTZ-Fachbuch

Die komplexe Technik heutiger Kraftfahrzeuge und Antriebsstränge macht einen immer größer werdenden Fundus an Informationen notwendig, um die Funktion und die Arbeitsweise von Komponenten oder Systemen zu verstehen. Den raschen und sicheren Zugriff auf diese Informationen bietet die Reihe ATZ/MTZ-Fachbuch, welche die zum Verständnis erforderlichen Grundlagen, Daten und Erklärungen anschaulich, systematisch, anwendungsorientiert und aktuell zusammenstellt.

Die Reihe wendet sich an Ingenieure der Kraftfahrzeugentwicklung und Antriebstechnik sowie Studierende, die Nachschlagebedarf haben und im Zusammenhang Fragestellungen ihres Arbeitsfeldes verstehen müssen und an Professoren und Dozenten an Universitäten und Hochschulen mit Schwerpunkt Fahrzeug- und Antriebstechnik. Sie liefert gleichzeitig das theoretische Rüstzeug für das Verständnis wie auch die Anwendungen, wie sie für Gutachter, Forscher und Entwicklungsingenieure in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie bei Dienstleistern benötigt werden.

---

MAHLE GmbH  
Herausgeber

# Zylinderkomponenten

Eigenschaften, Anwendungen, Werkstoffe

2., überarbeitete Auflage

 Springer Vieweg

*Herausgeber*

MAHLE GmbH  
Stuttgart, Deutschland

ISBN 978-3-658-09545-1  
DOI 10.1007/978-3-658-09546-8

ISBN 978-3-658-09546-8 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2009, 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Fachmedien Wiesbaden ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media ([www.springer.com](http://www.springer.com))

# Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

vor Ihnen liegt die zweite, überarbeitete Auflage des ersten Bands der MAHLE Produktkunde, einer mehrbändigen Fachbuchreihe. Dieser erste Band, wie auch der zweite Band „Kolben und motorische Erprobung“, wird Ihnen die tägliche Arbeit in diesem Spannungsfeld etwas erleichtern und mit vielen Bildern, Grafiken und Tabellen ein guter Ratgeber bei allen schwierigen Fragen sein. Die MAHLE Produktkunde wendet sich an Ingenieure und Naturwissenschaftler aus den Bereichen Entwicklung, Konstruktion und Instandhaltung von Motoren, Professoren und Studenten der Fakultäten Maschinenbau, Motorentechnik, Thermodynamik und Fahrzeugbau und natürlich an alle Leserinnen und Leser, die Interesse an modernen Otto- und Dieselmotoren haben.

Die Entwicklung und Konstruktion von Verbrennungsmotoren befindet sich gegenwärtig in einer äußerst spannenden Phase. Noch nie waren die Anforderungen der internationalen Gesetzgeber, der Kunden und der Verbraucherorganisationen zum Teil so widersprüchlich in ihren Auswirkungen auf Konstruktion und Entwicklung der Motoren. So ist Umweltschutz durch sauberes Abgas nicht zum Nulltarif – weder bei den Kosten noch beim Gewicht der Motoren – zu haben. Partikelfilter, Abgasrückführung, SCR-Systeme und andere Lösungen zur Abgasreinigung stehen darüber hinaus oft in einem direkten Zielkonflikt zum angestrebten geringeren Kraftstoffverbrauch.

In diesem ersten Band präsentieren wir Ihnen alle Details zu den wichtigen Zylinderkomponenten in wissenschaftlicher Tiefe und Akribie. Es werden viele Fragen zu Kolbenringen, Kolbenbolzen und Kolbenbolzensicherungen, Gleitlagern, Pleuelstangen sowie zu Kurbelgehäusen und Zylinderlaufbuchsen beantwortet. Der Inhalt spiegelt sowohl Erfahrung als auch Wissen und Fachkompetenz der Ingenieure und Naturwissenschaftler von MAHLE wider.

Viele anschauliche Fotos und Grafiken informieren Sie über neueste und auch zukünftige Trends bei den Zylinderkomponenten. Ob Werkstoffe, Bauarten, Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen, numerische Simulation und FE-Berechnungen sowie Gießverfahren; kein relevantes Thema wurde ausgelassen.

Wir wünschen Ihnen viel Freude und viele neue Erkenntnisse mit dieser Lektüre.

Stuttgart, Oktober 2015



*Wolf-Henning Scheider*

Vorsitzender der Konzern-Geschäftsführung und CEO



*Heinz K. Junker*

Vorsitzender des Aufsichtsrats

## Danksagung

Wir danken allen Autoren, die an diesem Band mitgewirkt haben.

Dipl.-Ing. Juliano Avelar Araujo, Brasilien  
Dipl.-Ing. Beat M. Christen, Deutschland  
Dipl.-Ing. Jürgen Dallef, Deutschland  
Dipl.-Ing. André Ferrarese, Brasilien  
Dr.-Ing. Rolf-Gerhard Fiedler, Deutschland  
B.Eng. James George, Großbritannien  
Dr. rer. nat. Roger Gorges, Großbritannien  
David Hancock, Großbritannien  
Dipl.-Ing. Daniel Hrdina, Deutschland  
Michael Bernhard Hummel, Deutschland  
CEng MIMechE Mike Jeremy, Großbritannien  
Dipl.-Ing. Horst Kaiser, Deutschland  
Dipl.-Ing. Oliver Kroner, Deutschland  
Dipl.-Ing. Ditrich Lenzen, Deutschland  
Dipl.-Ing. Roland Lochmann, Deutschland  
Ing. Josef Locsi, Deutschland  
Dr.-Ing. Daniel Lopez, Deutschland  
B.Eng. Sebastian Mangold, Deutschland  
Dipl.-Ing. Leandro Mileo Martins, Brasilien  
Günther Mayer, Deutschland  
Dipl.-Ing. Marcelo Miyamoto, Brasilien  
Dipl.-Ing. Marco Maurizi, Deutschland  
Dr.-Ing. Uwe Mohr, Deutschland  
Dipl.-Ing. Eduardo Nocera, Brasilien  
Dipl.-Ing. Marcio Padial, Deutschland  
Dipl.-Ing. Berthold Repgen, Deutschland  
Dipl.-Ing. Andreas Seeger-van Nie, Deutschland  
Dipl.-Ing. Anabelle Silcher, Deutschland  
Dr.-Ing. Stefan Spangenberg, Deutschland  
Peter Thiele, Deutschland  
Dipl.-Ing. Adolf Tirlir, Deutschland  
Dr. Eduardo Tomanik, Brasilien  
Dipl.-Ing. Achim Voges, Deutschland  
Dipl.-Ing. Oliver Voßler, Deutschland  
Prof. Dr.-Ing. Stefan Zima (†), Deutschland

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Kolbenringe</b> .....	<b>1</b>
1.1 Aufgabe und Funktion der Kolbenringe .....	1
1.2 Wirkprinzipien .....	4
1.3 Kräfte und Beanspruchungen .....	4
1.4 Kolbenringbauarten .....	7
1.4.1 Rechteckring .....	9
1.4.2 Rechteckring mit konischer Lauffläche .....	10
1.4.3 Kolbenring mit Innenfase oder mit Innenwinkel oben .....	10
1.4.4 Kolbenring mit Innenfase oder mit Innenwinkel unten .....	10
1.4.5 Trapezring .....	11
1.4.6 Erster Kolbenring mit balliger Oberfläche .....	12
1.4.7 Nasenring mit konischer Lauffläche .....	12
1.4.8 Stoßkonfiguration .....	12
1.4.9 Ölschlitzring .....	13
1.4.10 Federgespannter Ölabstreifring .....	14
1.4.10.1 Ölabstreifring mit Schlauchfeder .....	14
1.4.10.2 Dreiteiliger Ölabstreifring (Lamellenring) .....	16
1.4.11 U-Flex-Ring .....	16
1.5 Konstruktive Einzelheiten .....	17
1.5.1 Berechnung und Simulation .....	17
1.5.1.1 Numerische Berechnung .....	17
1.5.1.2 Spannungsuntersuchung .....	17
1.5.1.3 Dynamische Untersuchung .....	18
1.5.1.4 Formfüllungsvermögen .....	18
1.5.1.5 Spezifische Flächenpressung .....	19
1.5.1.6 Ovalität .....	19
1.5.1.7 Konstruktionsrichtlinien .....	19
1.6 Werkstoffe, Beschichtung und Oberflächenbehandlung .....	19
1.6.1 Werkstoffe .....	19
1.6.1.1 Gusseisen .....	20
1.6.1.2 Stahl .....	21
1.6.2 Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen .....	21
1.6.2.1 Grauguss als Grundwerkstoff .....	21
1.6.2.2 Martensitisches Sphärogusseisen als Grundwerkstoff .....	22
1.6.2.3 Kohlenstoffstahl und Edelstahl .....	23
1.6.2.4 Laufflächen- und Flankenbeschichtungen .....	24
1.6.2.5 Nitrieren von Laufflächen .....	25
1.6.2.6 Oberflächenschutz .....	25

<b>2</b>	<b>Kolbenbolzen und Kolbenbolzensicherungen</b> .....	27
2.1	Funktion des Kolbenbolzens .....	27
2.2	Anforderungen .....	28
2.2.1	Allgemein .....	28
2.2.2	Festigkeit .....	29
2.2.3	Deformation .....	32
2.2.4	Schmierung, Ölversorgung .....	33
2.2.5	Verschleiß .....	33
2.2.6	Gewicht .....	34
2.3	Kolbenbolzenbauarten .....	34
2.4	Auslegung .....	36
2.4.1	Dimensionierung .....	36
2.4.2	Berechnung .....	37
2.4.3	Finite-Elemente-Berechnung .....	38
2.4.4	Maß- und Formtoleranzen, Norm .....	41
2.5	Werkstoffe .....	43
2.6	Beschichtung .....	46
2.7	Bauteilprüfung .....	47
2.8	Kolbenbolzensicherungen .....	48
<b>3</b>	<b>Gleitlager</b> .....	51
3.1	Produktprogramm .....	51
3.1.1	Anwendungen .....	51
3.1.2	Bauarten und Terminologie .....	51
3.2	Konstruktionsrichtlinien .....	54
3.2.1	Eigenschaften .....	54
3.2.2	Belastbarkeit .....	54
3.2.3	Verschleißfestigkeit .....	56
3.2.4	Start/Stop- Applikationen .....	56
3.2.5	Fresssicherheit .....	58
3.2.6	Einbettfähigkeit .....	58
3.3	Lagergeometrie .....	59
3.3.1	Lagerdurchmesser und Lagerbreite .....	59
3.3.2	Nuten und Bohrungen .....	60
3.3.3	Lagerspiel .....	60
3.3.4	Lager- und Buchsensitz .....	61
3.4	Numerische Simulation .....	62
3.4.1	Hydrodynamische Schmierung (Mobility-Methode) .....	62
3.4.2	Spezialisierte Simulationen (TEHL) .....	64
3.4.3	Zusätzliche CFD-Simulationen .....	65
3.4.4	Überdeckungs- und Montage-Simulationen .....	66
3.5	Werkstoffe .....	67
3.6	Marktanforderungen und Technologietrends .....	71

<b>4 Pleuelstange</b> .....	73
4.1 Einleitung .....	73
4.2 Beanspruchungen .....	75
4.3 Anforderungen .....	76
4.4 Großes Pleuelauge .....	77
4.4.1 Cracken (Bruchtrennen) .....	77
4.4.2 Schräge Teilung des großen Pleuelauges .....	78
4.5 Pleuelschaft .....	79
4.6 Kleines Pleuelauge .....	79
4.6.1 Bolzenlagerung im kleinen Pleuelauge .....	79
4.6.2 Geometrie des Pleuelkopfes .....	80
4.6.3 Schmierung der Bohrung im kleinen Auge .....	81
4.6.4 Buchsenlose Bolzenlagerung im kleinen Pleuelauge .....	82
4.7 Führung der Pleuelstange .....	83
4.8 FE-Berechnung an der Pleuelstange .....	84
4.8.1 Modellbildung .....	84
4.8.2 Beanspruchungen aus der Montage .....	85
4.8.2.1 Schraubenkraft .....	85
4.8.2.2 Buchsen, Lagerschalen und Schrumpfsitz .....	86
4.8.3 Beanspruchungen aus dem Motorbetrieb .....	86
4.8.3.1 Gaskraft .....	88
4.8.3.2 Massenträgheitskraft .....	89
4.9 Bauteilprüfung an der Pleuelstange .....	91
4.10 Werkstoffe .....	94
4.10.1 Stähle für geschmiedete Pleuel .....	94
4.10.2 Sintergeschmiedete Pleuelstangen .....	96
4.11 Pleuelverschraubung .....	97
4.11.1 Anforderungen an die Pleuelverschraubung .....	97
4.11.2 Auslegung und Berechnung der Pleuelverschraubung .....	97
4.11.3 Gestaltung der Pleuelverschraubung .....	99
<b>5 Kurbelgehäuse und Zylinderlaufbuchsen</b> .....	101
5.1 Einleitung .....	101
5.1.1 Kräfte und Beanspruchungen .....	102
5.1.2 Entwicklungsziele .....	102
5.2 Kurbelgehäusebauarten .....	103
5.2.1 Maßnahmen zur Dämpfung der Geräuschabstrahlung .....	104
5.2.2 Hauptlagersitze .....	105
5.2.3 Kühlung .....	106
5.3 Kurbelgehäusewerkstoffe .....	107
5.3.1 Gusseisen .....	107
5.3.2 Aluminiumlegierungen und Werkstoffeigenschaften .....	107

5.3.2.1	Einfluss des Gießvorgangs auf die Werkstoffeigenschaften von Aluminiumlegierungen .....	111
5.3.2.2	Einfluss der Wärmebehandlung auf die Eigenschaften von gegossenen Aluminiumlegierungen .....	112
5.3.3	Magnesium .....	113
5.3.4	Werkstofftrends .....	113
5.3.5	Einfluss des Gießverfahrens auf die Gestaltung des Kurbelgehäuses .....	114
5.3.5.1	Sandguss .....	114
5.3.5.2	COSCAST™-Verfahren .....	115
5.3.5.3	Formsand – „grüner Sand“ .....	115
5.3.5.4	CPS-Verfahren .....	115
5.3.5.5	Vollformgießverfahren (Lost-Foam-Verfahren) .....	116
5.3.5.6	Kokillenguss .....	116
5.3.5.7	Schwerkraftguss .....	116
5.3.5.8	Niederdruckguss .....	116
5.3.5.9	Druckguss .....	116
5.3.5.10	Squeeze Casting .....	117
5.3.5.11	Semi-Solid-Verfahren .....	117
5.4	Zylinderlaufbuchsen und Zylinderlauflächen .....	118
5.4.1	Anforderungen an die Zylinderlaufläche .....	118
5.4.2	Zylinderlauflächen in Aluminium-Kurbelgehäusen .....	118
5.4.3	Bauarten von Zylinderlaufbuchsen .....	120
5.4.4	Werkstoffe .....	124
5.4.5	Oberflächenbehandlung .....	126
5.5	Leichtmetallzylinder .....	127
5.5.1	Leichtmetallzylinderbauarten für Kleinmotoren .....	127
5.5.2	Luftgekühlte Zylinder .....	128
5.5.3	Kanalformen und Ladungswechsel bei Zweitaktmotoren .....	129
5.5.4	Zylinder für Viertaktmotoren .....	132
5.5.5	Oberflächenbehandlung .....	132
<b>Glossar</b>	.....	<b>136</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>	.....	<b>139</b>

# 1 Kolbenringe

## 1.1 Aufgabe und Funktion der Kolbenringe

Kolbenringe haben für den motorischen Betrieb folgende wichtige Aufgaben zu erfüllen:

- Abdichten des Brennraumes, um den Druck des Verbrennungsgases aufrechtzuerhalten. Das Verbrennungsgas darf nicht in das Kurbelgehäuse gelangen (wird auch Blow-by genannt) und Schmieröl nicht in den Brennraum.
- Ableitung der in den Kolben einfallenden Wärme an die Zylinderlauffläche.
- Steuerung des Ölhaushaltes, wobei einerseits eine Mindestölmenge zur Bildung eines hydrodynamischen Schmierfilms auf die Zylinderlauffläche gelangen muss, andererseits der Ölverbrauch so gering wie möglich gehalten werden soll.

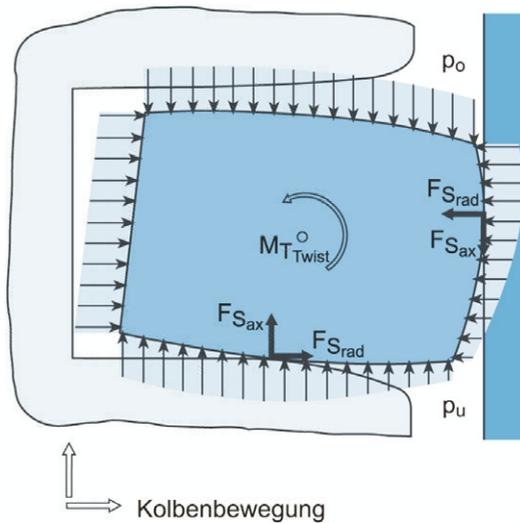
Ein Kolbenringpaket besteht in der Regel aus drei Kolbenringen: zwei Kompressionsringen (auch erster und zweiter Kolbenring genannt) sowie einem Ölabstreifring (dritter Kolbenring).

Die Kolbenringe übernehmen folgende Aufgaben:

- 1. Kolbenring:** Kompression der Verbrennungsluft bzw. des Gasgemisches und Aufnahme des Gasdrucks im Arbeitsspiel, Ableitung der anfallenden Wärme an die Zylinderlauffläche (siehe auch Abschnitt 1.3) und in geringem Maße Abstreifen des Restöls von der Zylinderlauffläche.
- 2. Kolbenring:** Aufnahme des restlichen Gasdruckes infolge Blow-by vom 1. Kolbenring, Steuerung der Druckverhältnisse in der Ringpartie, Abstreifen des Öls von der und Ableitung der hier anfallenden Wärme an die Zylinderlauffläche.
- 3. Kolbenring:** Homogene Verteilung des Öls zur Schmierung des tribologischen Systems Kolbengruppe / Zylinderlaufbahn und Abstreifen von überschüssigem Öl.

Bei der Auslegung von Kolbenringen sind jedoch auch folgende Punkte zu beachten:

- **Brandspurbildung:** Partieller Fressvorgang, welcher zu starkem Verschleiß, schlechter Dichtwirkung, erhöhtem Ölverbrauch und erhöhter Durchblasmenge führt.
- **Ringflattern oder radialer Kollaps:** Auftreten von radialen oder axialen Instabilitäten, welche zu einer Undichtigkeit und damit zu erhöhtem Blow-by führen.
- **Ringstecken:** Bei zu hoher Temperatur des Kolbens verkocht das Öl in den Ringnuten, sodass sich die Kolbenringe darin festsetzen.
- **Hoher Ölverbrauch:** Einflussgrößen sind das Formfüllungsvermögen (s. Abschnitt 1.5.1.4) der Kolbenringe, Verformung und Honung der Zylinderlaufbahn sowie Gasdruckverhältnisse im Kolbenstegbereich.
- **Reibung:** Die Kolbenringe haben einen großen Anteil an der Reibung der Kolbengruppe.

**Bild 1.1:**

Auf einen Kolbenring einwirkende Kräfte in der Kolbenringnut

hellblau: Kolbenringnut

mittelblau: Kolbenring

dunkelblau: Zylinder

Pfeile, den Kolbenring umgebend: auf den Kolbenring wirkende Kräfte

$p_o$  = Gasdruck oberhalb des Kolbenrings

$p_u$  = Gasdruck unterhalb des Kolbenrings

$F_{Srad}$  = Radial wirkende Kraft und Gegenkraft

$F_{Sax}$  = Durch Reibung verursachte axiale Kraft und Gegenkraft

$M_{T Twist}$  = Gegenmoment des Kolbenrings

Pfeilrichtung ist positiver Twist

Kompressionsringe sind überwiegend einteilig und selbstspannend. Ihre Grundform ist ein dünnwandiger, axial niedriger Kreiszyylinder. Zur Erzeugung des notwendigen Anlagedrucks gegen die Zylinderwand erhalten die Kolbenringe die Form einer offenen Ringfeder. Die im eingebauten Zustand radial wirkende Federkraft wird im Motorbetrieb durch den auch hinter dem Kolbenring herrschenden Gasdruck verstärkt. Die axiale Anlage an der Ringnutflanke wird im Wesentlichen durch die Gasdruckbeaufschlagung der Kolbenringflanke erzeugt (**Bild 1.1**).

Beim Einbau des Kolbens in den Zylinder werden die Kolbenringe an ihren Enden bis auf das Stoßspiel zusammengedrückt. Im Kolben sind sie in ihren Abmessungen entsprechenden Kolbenringnuten geführt und folgen deshalb der Kolbenbewegung. Diese 1854 von John Ramsbottom erfundene, als Selbstspanner bezeichnete Bauart hatte sich von Anfang an in Kolben von Dampflokomotiven bewährt. Sie wurde zur Basiserfindung der Motorentechnik, weil erst mit dieser Ringart eine sichere Abdichtung der hohen Gasdrücke im Brennraum möglich wurde – heute bis zu mehr als 260 bar.

Die Kraft, mit der sich ein Kolbenring an die Zylinderwand anlegt, hängt hauptsächlich von der Durchmesserdifferenz des vorgespannten Kolbenrings und des Zylinders ab. Diese Vorspannung wird so ausgelegt, dass der Kolbenring den jeweiligen Anforderungen gerecht wird, die sich aus Arbeitsverfahren und Betriebsbedingungen ergeben. Durch den Einbau des Kolbenrings in den Zylinder wird eine Tangentialkraft hervorgerufen, die ihrerseits den Anpressdruck erzeugt.

- Die radiale Verteilung des Anpressdrucks wird durch die Form des Kolbenrings erreicht, Kolbenringe sind heute durchweg doppelt-formgedreht oder aus Draht gewickelt.

- Die radiale Verteilung des Anpressdrucks hängt von der Form der Lauffläche – zylindrisch oder konisch – und der Profilgeometrie des Kolbenrings (Balligkeit) ab.
- Der Anpressdruck ist durch das Arbeitsverfahren bestimmt.

Der Radialdruck, mit dem sich der Kolbenring an die Zylinderlaufbahn anlegt, ist klein im Vergleich zu dem Gasdruck, der von der Ringnut im Kolben auf die Innenseite des Kolbenrings wirkt (**Bild 1.1**). Bei Dieselmotoren mit ihren hohen Gasdrücken wird in vielen Fällen der Kolbenring an der Lauffläche so geformt, dass der Gasdruck von hier gegen den von der Innenseite wirkt und so den Anlagedruck an der Zylinderlaufbahn verringert. Durch den montagebedingten Ringstoß kann der Kolbenring nicht vollkommen abdichten, was zu Undichtigkeiten an dieser Stelle führt.

Von Kolbenring-Werkstoffen werden gefordert:

- gutes Lauf- und Notlaufvermögen,
- elastisches Verhalten,
- mechanische Festigkeit,
- hohe Warmfestigkeit,
- hohes Wärmeleitvermögen und
- gute Bearbeitbarkeit.

Als Werkstoffe werden unvergüteter und vergüteter Grauguss, Gusseisen mit Kugelgrafit (vergütet) und vergüteter Stahl oder nitrierter Edelstahl verwendet.

Zur Verbesserung des Einlaufverhaltens, Verringerung von Verschleiß sowie Unterbindung von Brandspurbildung werden besondere Maßnahmen durch Beschichtung und Bewehrung (Schutz) der Laufflächen ergriffen.

Das Betriebsverhalten hängt von vielen Einflussgrößen ab, weshalb sich die Optimierung von Kolbenringen oft aufwendig und schwierig gestaltet:

- Bauart und Konstruktion des Motors,
- Verbrennungsverfahren, Verbrennungsablauf, Drücke und Druckgradienten,
- Motorblock- und Zylinderausführung, Zylinderwerkstoff und -bearbeitung (z. B. Honung),
- Kraftstoff und Schmiermittel,
- Kolbentechnologie,
- Kolbenringtyp, -werkstoff und -lauffläche sowie
- Betriebsbedingungen.

## 1.2 Wirkprinzipien

Als Teil der beweglichen Begrenzung des Motorarbeitsraums des Motors erfüllt der Kolbenring verschiedene Aufgaben. Für den Ablauf des thermodynamischen Prozesses hat er dafür zu sorgen, dass der Gasdruck im Zylinder aufrechterhalten bleibt und nicht absinkt. Das ist Aufgabe insbesondere des ersten Kolbenrings. Voraussetzung ist, dass ein Schmierfilm, der als „gasabdichtende Öldruckbarriere“ wirkt, vorhanden ist. Versuche von Felix Wankel hatten gezeigt, dass ohne eine solche Flüssigkeitsschicht ein Abdichten hoher Gasdrücke gegen bewegliche Teile nicht möglich ist. Durch die Bewegung des Kolbenrings baut sich ein hydrodynamischer Druck auf, der höher als der Gasdruck ist. Deshalb ist es für die Funktion des Kolbenrings so wichtig, dass die Zylinderlauffläche ausreichend mit Schmieröl benetzt wird. Die Grobdosierung dieser Ölmenge wird von dem Ölabstreifring, die Feinsteuerung vom ersten Kolbenring mit Ölabstreifwirkung vorgenommen.

Die Anordnung mehrerer Kolbenringe hintereinander bildet ein System von Drosselkammern, in denen der Druck der Leckgase durch Drosselung und Verwirbelung weiterhin abgebaut wird. Es lässt sich aber nicht vermeiden, dass ein geringer Teil von Verbrennungsgasen, verdichtetem Gemisch bzw. Luft an den Kolbenringen vorbei in das Kurbelgehäuse gelangt (Durchblasmenge oder Blow-by-Gas). Die Breite und Toleranz des Ringstoßes hat einen erheblichen Einfluss auf die Durchblasmenge. An den Flanken dichtet der Kolbenring wie ein Ventil ab. An der Lauffläche machen sich Undichtigkeiten am stärksten bemerkbar, weil beim Durchblasen der Ölfilm durchbrochen wird. Generell wird eine möglichst geringe Durchblasmenge (Blow-by) angestrebt, da die Verbrennungsgase zu verstärkter Ölalterung und Bauteilverschleiß führen. Dennoch ist eine gewisse Blow-by-Menge erwünscht, um einen Öltransport in die Brennkammer zu vermeiden.

## 1.3 Kräfte und Beanspruchungen

### Kräfte und Temperaturen an Kolbenringen

Kolbenringe werden mechanisch, thermisch, tribologisch und korrosiv hoch beansprucht.

Kolbenringe haben ihre Aufgabe bei hohen Verbrennungsgastemperaturen und Verbrennungsdrücken bis zu 260 bar zu erfüllen.

Bis zu 20 % der vom Kolben aufgenommenen Wärme werden je nach Design von den Kolbenringen an die Zylinderwand übertragen.