

MAHLE GmbH (Hrsg.)

Zylinderkomponenten

MAHLE GmbH (Hrsg.)

Zylinderkomponenten

Eigenschaften, Anwendungen, Werkstoffe

Mit 119 Abbildungen und 24 Tabellen

PRAXIS | ATZ/MTZ-Fachbuch



VIEWEG+
TEUBNER

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

1. Auflage 2009

Herausgeber:

© MAHLE GmbH, Stuttgart 2009

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009

Lektorat: Ewald Schmitt | Gabriele McLemore

Vieweg+Teubner ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.viewegteubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, 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.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Satz: Klementz publishing services, Gundelfingen

Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0437-2

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

vor Ihnen liegt der erste Band der MAHLE Produktkunde, einer mehrbändigen Fachbuchreihe. Sie will Ihnen die tägliche Arbeit in diesem Spannungsfeld etwas erleichtern und mit den vielen Bildern, Grafiken und Tabellen ein guter Ratgeber bei allen schwierigen Fragen sein und 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.

Stuttgart, November 2008


Heinz K. Junker

Danksagung

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

Dipl.-Ing. Juliano Avelar Araujo, Brasilien
Dipl.-Ing. Benedikt Boucke, Deutschland
Dipl.-Ing. Beat M. Christen, Deutschland
Dipl.-Ing. Jürgen Dallef, Deutschland
Dipl.-Ing. André Ferrarese, Brasilien
Dr.-Ing. Rolf-Gerhard Fiedler, 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
Dipl.-Ing. Leandro Mileo Martins, Brasilien
Dipl.-Ing. Marcelo Miyamoto, Brasilien
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

1	Kolbenringe	1
1.1	Aufgabe und Funktion der Kolbenringe	1
1.2	Wirkungsprinzipien	3
1.3	Kräfte und Beanspruchungen	4
1.3.1	Kräfte und Temperaturen an Kolbenringen	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	L-förmiger Kolbenring	11
1.4.7	Erster Kolbenring mit balliger Oberfläche	11
1.4.8	Nasenring mit konischer Lauffläche	12
1.4.9	Stoßkonfiguration	12
1.4.10	Ölschlitzring	13
1.4.11	Federgespannter Ölabstreifring	13
1.4.11.1	Ölabstreifring mit Schlauchfeder	13
1.4.11.2	Federgestützter Ölabstreifring (Lamellenring)	15
1.4.12	U-Flex-Ring	15
1.5	Konstruktive Einzelheiten	16
1.5.1	Berechnung und Simulation	16
1.5.1.1	Numerische Berechnung	16
1.5.1.2	Spannungsuntersuchung	16
1.5.1.3	Dynamische Untersuchung	17
1.5.1.4	Formfüllungsvermögen	17
1.5.1.5	Spezifische Flächenpressung	18
1.5.1.6	Ovalität	18
1.5.1.7	Konstruktionsrichtlinien	18
1.6	Werkstoffe, Beschichtung und Oberflächenbehandlung	18
1.6.1	Werkstoffe	18
1.6.1.1	Gusseisen	19
1.6.1.2	Stahl	20
1.6.2	Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen	20
1.6.2.1	Grauguss als Grundwerkstoff	20
1.6.2.2	Martensitisches Sphärogusseisen als Grundwerkstoff	21
1.6.2.3	Kohlenstoffstahl und Edelstahl	22
1.6.2.4	Laufflächen- und Flankenbeschichtungen	23
1.6.2.5	Nitrieren von Laufflächen	24
1.6.2.6	Oberflächenschutz	25

2	Kolbenbolzen und Kolbenbolzensicherungen	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	31
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	Kolbenbolzenwerkstoffe	43
2.6	Bauteilprüfung	46
2.6.1	Kolbenbolzenprüfstand	46
2.7	Kolbenbolzensicherungen	47
3	Gleitlager	49
3.1	Produktprogramm	49
3.1.1	Anwendungen	49
3.1.2	Bauarten und Terminologie	49
3.2	Konstruktionsrichtlinien	52
3.2.1	Eigenschaften	52
3.2.2	Belastbarkeit	52
3.2.3	Verschleißfestigkeit	54
3.2.4	Fresssicherheit	55
3.3	Lagergeometrie	55
3.3.1	Lagerdurchmesser und Lagerbreite	55
3.3.2	Nuten und Bohrungen	56
3.3.3	Lagerspiel	56
3.3.4	Lager- und Buchsensitz	57
3.3.4.1	Exzentrizität	57
3.4	Numerische Simulation	58
3.4.1	Hydrodynamische Schmierung (LOCUS)	58
3.4.2	Elasto-hydrodynamische Schmierung (EHL)	59
3.4.3	Axiallagersimulation (ABAS)	60
3.4.4	Überdeckungen (PRESSFIT)	61
3.5	Lagerwerkstoffe	62
3.5.1	Zusammensetzung und Eigenschaften von Lagerwerkstoffen	62
3.6	Marktanforderungen und Technologietrends	68

4 Pleuelstange	71
4.1 Einleitung	71
4.2 Beanspruchungen	74
4.3 Anforderungen	75
4.3.1 Masse der Pleuelstange	75
4.4 Großes Pleuelauge	76
4.4.1 Cracken (Bruchtrennen)	76
4.4.2 Schräge Teilung des großen Pleuelauges	77
4.5 Pleuelschaft	78
4.6 Kleines Pleuelauge	78
4.6.1 Bolzenlagerung im kleinen Pleuelauge	78
4.6.2 Geometrie des Pleuelkopfes	79
4.6.3 Buchsenlose Bolzenlagerung im kleinen Pleuelauge	80
4.7 FE-Berechnung an der Pleuelstange	81
4.7.1 Modellbildung	81
4.7.2 Beanspruchungen aus der Montage	82
4.7.2.1 Schraubenkraft	82
4.7.2.2 Buchsen, Lagerschalen und Schrumpfsitz	83
4.7.3 Beanspruchungen aus dem Motorbetrieb	83
4.7.3.1 Gaskraft	85
4.7.3.2 Massenträgheitskraft	86
4.8 Bauteilprüfung an der Pleuelstange	88
4.9 Stähle für geschmiedete Pleuel	92
4.10 Pleuelverschraubung	93
4.10.1 Anforderungen an die Pleuelverschraubung	93
4.10.2 Auslegung und Berechnung der Pleuelverschraubung	93
4.10.3 Gestaltung der Pleuelverschraubung	95
5 Kurbelgehäuse und Zylinderlaufbuchsen	97
5.1 Einleitung	97
5.1.1 Kräfte und Beanspruchungen	98
5.1.2 Entwicklungsziele	98
5.2 Kurbelgehäusebauarten	99
5.2.1 Maßnahmen zur Dämpfung der Geräuschabstrahlung	100
5.2.2 Hauptlagersitze	101
5.2.3 Kühlung	101
5.3 Kurbelgehäusewerkstoffe	102
5.3.1 Gusseisen	102
5.3.2 Aluminiumlegierungen und Werkstoffeigenschaften	103
5.3.2.1 Einfluss des Gießvorgangs auf die Werkstoffeigenschaften von Aluminiumlegierungen	106
5.3.2.2 Einfluss der Wärmebehandlung auf die Eigenschaften von gegossenen Aluminiumlegierungen	107
5.3.3 Magnesium	108
5.3.4 Werkstoffrends	109

5.3.5	Einfluss des Gießverfahrens auf die Gestaltung des Kurbelgehäuses	109
5.3.5.1	Sandguss	109
5.3.5.2	COSCAST™-Verfahren	110
5.3.5.3	Formsand – „grüner Sand“	110
5.3.5.4	CPS-Verfahren	110
5.3.5.5	Vollformgießverfahren (Lost-Foam-Verfahren)	111
5.3.5.6	Kokillenguss	111
5.3.5.7	Schwerkraftguss	111
5.3.5.8	Niederdruckguss	111
5.3.5.9	Druckguss	112
5.3.5.10	Squeeze Casting	112
5.3.5.11	Semi-Solid-Verfahren	112
5.4	Zylinderlaufbuchsen und Zylinderlaufflächen	113
5.4.1	Anforderungen an die Zylinderlauffläche	113
5.4.2	Zylinderlaufflächen in Aluminium-Kurbelgehäusen	113
5.4.3	Bauarten von Zylinderlaufbuchsen	115
5.4.4	Werkstoffe für Zylinderlaufbuchsen	119
5.4.5	Behandlung der Laufflächen von Zylinderlaufbuchsen	122
5.5	Leichtmetallzylinder	122
5.5.1	Leichtmetallzylinderbauarten für Kleinmotoren	123
5.5.2	Luftgekühlte Zylinder	123
5.5.3	Kanalformen und Ladungswechsel bei Zweitaktmotoren	124
5.5.4	Zylinder für Viertaktmotoren	127
5.5.5	Laufflächenbeschichtungen für Leichtmetallzylinder	127
Glossar		131
Sachwortverzeichnis		133

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 aufrecht zu erhalten. Das Verbrennungsgas darf nicht in das Kurbelgehäuse und Öl nicht in den Brennraum gelangen.
- 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 klein wie möglich gehalten werden soll.

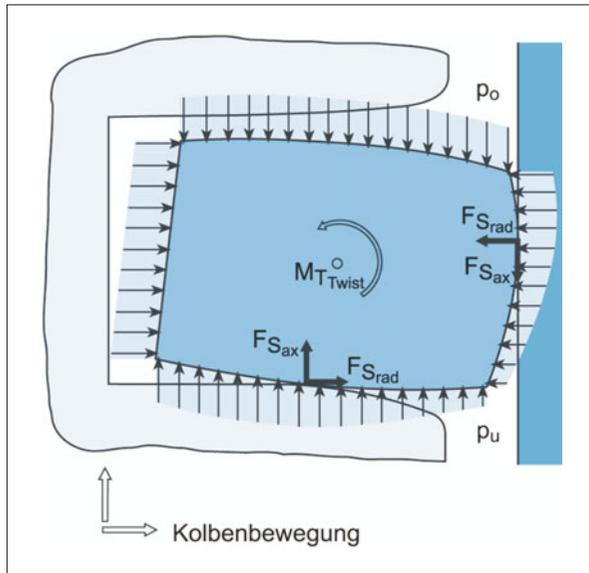
Diese Aufgaben übernehmen die Kolbenringe wie folgt:

- 1. Kolbenring:** Kompression der Verbrennungsluft bzw. des Gasgemisches und Aufnahme des Gasdrucks im Arbeitsspiel, Ableitung der anfallenden Wärme an die Zylinderlauffläche, (siehe auch Abschnitt 1.3.1) und in geringem Maße Abstreifen des Restöls von der Zylinderlauffläche.
- 2. Kolbenring:** Aufnahme des restlichen Gasdruckes infolge Blow-by vom 1. Kolbenring, Abstreifen des Öls von und Ableitung der hier anfallenden Wärme an die Zylinderlauffläche.
- 3. Kolbenring:** Abstreifen des Öls.

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:** Auftreten von radialen und axialen Schwingungen. Der im Nutgrund radial auf den Kolbenring wirkende Gasdruck fällt ab, der Kolbenring ist nicht mehr streng geführt.
- **Ringstecken:** Bei zu hoher Temperatur des Kolbens verkocht das Öl in den Ringnuten, so dass sich die Kolbenringe darin festsetzen.
- **Hoher Ölverbrauch:** Einflussgrößen sind das Formfüllungsvermögen (s. Abschnitt 1.5.1.4) der Kolbenringe, Verformung und Honung der Zylinderlaufbahn.
- **Reibung:** Die Kolbenringe haben einen großen Anteil an der Reibung der Kolbengruppe.

Kolbenringe sind überwiegend einteilig, geschlitzt und selbst spannend. 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

**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

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 Durchmesserdiffferenz 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.
- Die radiale Verteilung des Anpressdrucks hängt von der Form der Lauffläche – zylindrisch oder konisch – und der Profilgeometrie des Kolbenrings (Balligkeit) ab.
- Sie 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 Zylinderlauffläche verringert. Trotz aller Bemühungen kann der Kolbenring nicht vollkommen abdichten. Undichtigkeiten treten am Ringstoß, an den Flanken und an der Lauffläche auf.

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 Kugelgraphit (vergütet) und vergüteter Stahl oder 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,
- Zylinderausführung, -werkstoff und -bearbeitung,
- Kraftstoff und Schmiermittel,
- Kolbenringtyp, -werkstoff und -lauffläche und
- Betriebsbedingungen.

1.2 Wirkungsprinzipien

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 aufrecht erhalten 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. Die Durchblasmenge (Blow-by-Gas) will man natürlich minimieren. Dennoch gelangen Gase von bis zu ca. 5 % des Hubvolumens pro Arbeitstakt in das Kurbelgehäuse.

1.3 Kräfte und Beanspruchungen

1.3.1 Kräfte und Temperaturen an Kolbenringen

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

Kolbenringe haben ihre Aufgabe bei Verbrennungsgastemperaturen von bis zu 2.600 °C und Verbrennungsdrücken bis zu 260 bar zu erfüllen.

Ca. 25 bis 60 % der vom Kolben aufgenommenen Wärme wird von den Kolbenringen an die Zylinderwand übertragen.

Die Grenze der Temperaturbelastung des ersten Kolbenrings ist erreicht, wenn das Öl in der ersten Kolbenringnut als Folge zu hoher Temperatur anfängt zu verkoken. Dadurch wird die Beweglichkeit des ersten Kolbenrings, eine Voraussetzung für seine sichere Funktion, eingeschränkt. Er liegt nicht mehr richtig an der Zylinderlauffläche an, es kommt zum Ringstecken. Ringseitige Abhilfe bietet der Anfang der 1930er Jahre von dem englischen Motorhersteller Napier entwickelte Trapezring (**Bild 1.2**).



Bild 1.3:
Ringträgerkolben

Kolbenringe, Kolben, Zylinderlauffläche und Schmiermittel bilden ein tribologisches System, für dessen einwandfreie Funktion alle Gleitpartner verantwortlich sind. Beim Kolbenring sind es Bauart, konstruktive Detailausführung, Vorspannung (Höhe sowie axiale und radiale Verteilung) und Werkstoff, beim Kolben Bauart und Werkstoffe bzw. Werkstoffpaarung sowie konstruktive Details, bei der Zylinderlauffläche Werkstoff, Bearbeitung (Honung) und Formtreue (siehe Kapitel 5). Die Schmierung hängt vom Schmiermittel selbst (Grundöl, Additive, Viskositätsklasse), einer ausreichenden Benetzung der Lauffläche und der Temperatur ab.

Verbrennungsgase enthalten korrosive Bestandteile, deren nachteiligster Schwefeldioxid (SO_2) ist. Schwefeldioxid begünstigt den korrosiven Verschleiß der Zylinderlauffläche, hauptsächlich im Bereich des OT. Auch die Ringlauffläche wird angegriffen. Schlechter werdende Kraftstoffe (Schweröle), mit denen Großmotoren (mittelschnell laufende Viertakt- und langsam laufende Zweitaktmotoren) betrieben werden, verschärfen dieses Problem und verlangen ring-, kolben- und zylinderseitig besondere Maßnahmen.

Die Bewegung des Ringpakets erzeugt Reibung und dadurch mechanische Verluste. Zwischen 10 und 20 % der gesamten Motorreibleistung wird durch das Ringpaket verursacht. Die Reibung wird hauptsächlich durch folgende Faktoren bestimmt:

- die Flächenpressung (Tangentialkraft und Gasdruck),
- die Ringhöhe,
- den Reibungskoeffizienten der Kontaktfläche (Beschichtung),
- die Ringlaufflächenform (Balligkeit),
- die Oberflächenbeschaffenheit des Gegenkörpers (Zylinderlauffläche).

Eine Reduzierung der Reibungsverluste kann hauptsächlich durch die Minimierung der Flächenpressung, d.h. durch die Reduzierung der Tangentialkraft und der Ringhöhe erreicht werden.