

Am Institut für Maschinenwesen wurde eine Studienarbeit betreut, die in Zusammenarbeit mit der Collins Motor Corporation Pty. Ltd. (CMC) in Melbourne angefertigt wurde und sich mit Untersuchungen an Kurbelschlaufenmotoren befaßte. Der vorliegende Artikel gibt einen kurzen Einblick in den Aufbau und die Funktionsweise der dort entwickelten Kurbelschlaufenmotoren.

Aufbau des Kurbelschlaufenmotors

Die CMC-Kurbelschlaufenmotoren (**Bild 1**) sind durch eine horizontale Zylinderanordnung – ähnlich

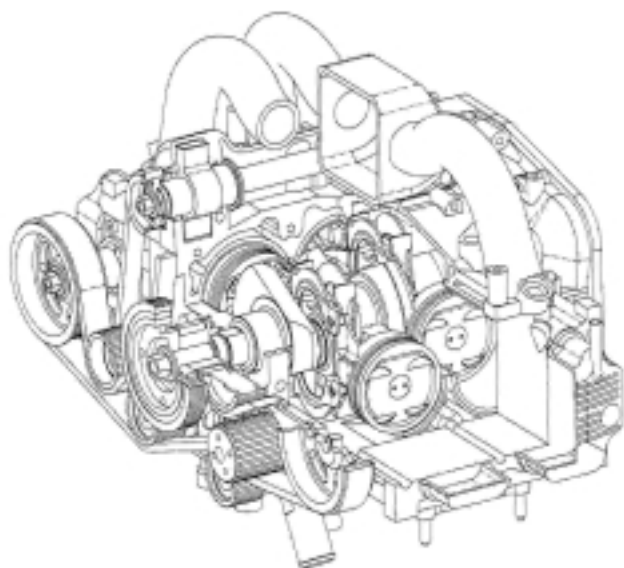


Bild 1: Schnittdarstellung eines 4-Zylinder-Kurbelschleifenmotors [1]

einem Boxermotor – charakterisiert und besitzen ebenso wie dieser ein geteiltes Kurbelgehäuse. Die Steuerung des Gaswechsels erfolgt durch zwei oben liegende Nockenwellen. Die neuesten Versionen der CMC-Kurbelschlaufenmotoren besitzen ein schaltbares Saugrohr. Der im folgenden beschriebene Kur-

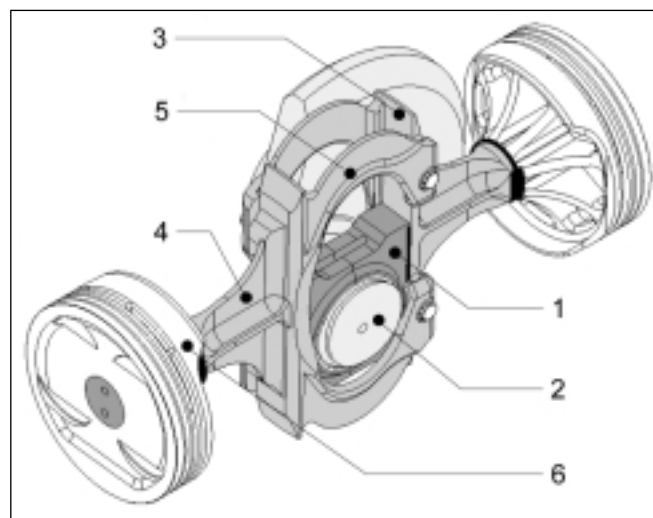


Bild 2: Aufbau des Kurbelschlaufenmechanismus [2]

Bauelement zur Bewegungsumwandlung in Verbrennungsmotoren

Die Kurbelschlaufe

Von Steffen Otto

belmechanismus ist der wesentliche Unterschied zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren.

KURBELSCHLAUFENMECHANISMUS

Der Kurbelschlaufenmechanismus (**Bild 2**) besteht aus einem geteilten Gleitblock (1), der mit einem Gleitlager auf dem Kurbelzapfen (2) einer konventionell gestalteten Kurbelwelle angeordnet ist. Der Gleitblock wird seitlich von den parallelen Pleuelenden (3) geführt. Diese beiden Linearlager sind das Kernstück des Kurbelschlaufenmecha-

nismus. Sie verhinderten in der Vergangenheit den Einsatz dieser Technik in schnellaufenden Motoren, weil die Schmierung der Gleitflächen für hohe und wechselnde Lasten nicht ausreichend war. Das in den CMC-Kurbelschlaufenmotoren angewendete, patentierte Schmierungssystem hat in Prüfstandsversuchen und Prototypenmotoren jedoch bewiesen, daß eine vollständige Trennung der Kontaktflächen auch unter den oben genannten Betriebsbedingungen gesichert ist. Dabei wird das Öl über den Kurbelzapfen und das Gleitlager der Linearführung in definierten Zeitintervallen zugeführt.

Die beiden gegenüberliegenden Pleuel (4) sind mit Hilfe der sogenannten C-Plates (5) starr miteinander verbunden. Im Gegensatz zu früheren Designversionen, in denen die C-Plates als se-

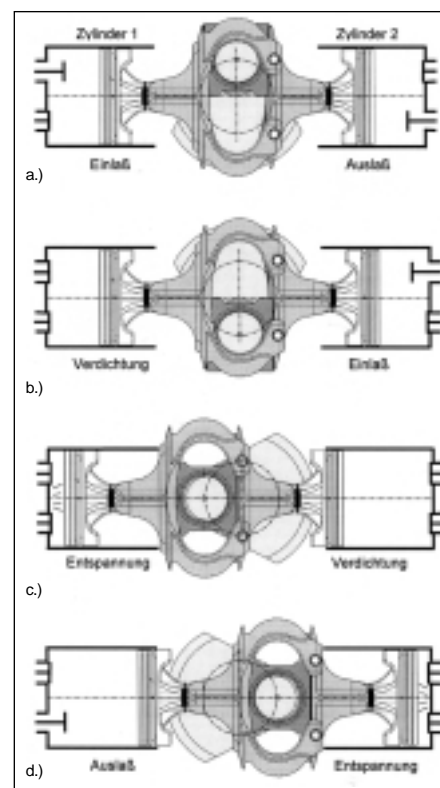


Bild 3: Arbeitszyklus [2]; a) 90°KW, b) 270°KW, c) 360°KW, d) 540°KW

parate Bauteile ausgeführt waren, sind diese im jetzigen Konstruktionsstadium fest mit dem Pleuel verbunden. Diese konstruktive Ausführung garantiert einen verformungssteifen Aufbau der Kurbelschleife, der für die störungsfreie Gleitbewegung eine Grundvoraussetzung ist.

Die aus Aluminium gefertigten Kolben (6) sind fest mit dem Pleuel verschraubt. Dadurch ist in Verbindung mit den zahlreichen Rippen an der Kolbenunterseite eine sehr gute Abfuhr der Wärme vom Kolbenboden möglich.

Funktionsweise

Bild 3 zeigt den prinzipiellen Ablauf eines Taktzyklus in einem Kurbelschlaufenmotor. Dabei wurde die Darstellung so gewählt, daß sowohl die beiden Totpunktpositionen als auch die Stellungen bei halbem Hub deutlich werden. ▶

Der Gleitblock bewegt sich mit dem Pleuellager auf einer kreisförmigen Bahn um die Achse der Pleuellager (angedeutet durch den strichpunktierten Kreis). Die starr miteinander verbundenen Pleuellager bewegen sich ausschließlich in Richtung der Pleuellagerachse; es treten keine Bewegungsanteile senkrecht zur Pleuellagerachse auf. Die Pleuellagerpunkte der gegenüberliegend angeordneten Pleuellager folgen 180° voneinander versetzt zueinander.

Aus den Darstellungen wird deutlich, daß die Pleuellagerkomponente, die der Gleitblock in Richtung der Pleuellagerachse verfährt, genau der Pleuellagerbewegung des Pleuellagers entspricht. Im Gegensatz zu konventionellen Pleuellagermechanismen bewegen sich demnach die Pleuellager beim Pleuellagermotor in einer exakt sinusförmigen Bewegung. Dies bewirkt, daß der Pleuellagermotor mit minimalem Aufwand vollständig ausbalanciert werden kann.

Während des Pleuellagerzyklus befindet sich der Gleitblock nahezu in der Pleuellagermittelposition innerhalb der Pleuellagerkurve. Die Pleuellagerkraft wird direkt am Ort ihrer Pleuellager (Pleuellagerboden) aufgenommen und auf kürzestem Wege zum Gleitblock geleitet. Die Pleuellagerkurve ist in dieser Position durch ein sehr starres Verhalten (kurzer Pleuellagerfluß) charakterisiert. Daraus abgeleitet kann weiterhin festgestellt werden, daß die geringen Pleuellagermomente durch niedrige Pleuellagerkräfte abgestützt werden können. Hierdurch reduzieren sich nicht nur der Verschleiß zwischen Pleuellager und Pleuellagerwand, sondern auch die Pleuellagergeräusche.

Im folgenden werden die charakteristischen Eigenschaften des Pleuellagermotors ausführlich dargestellt.

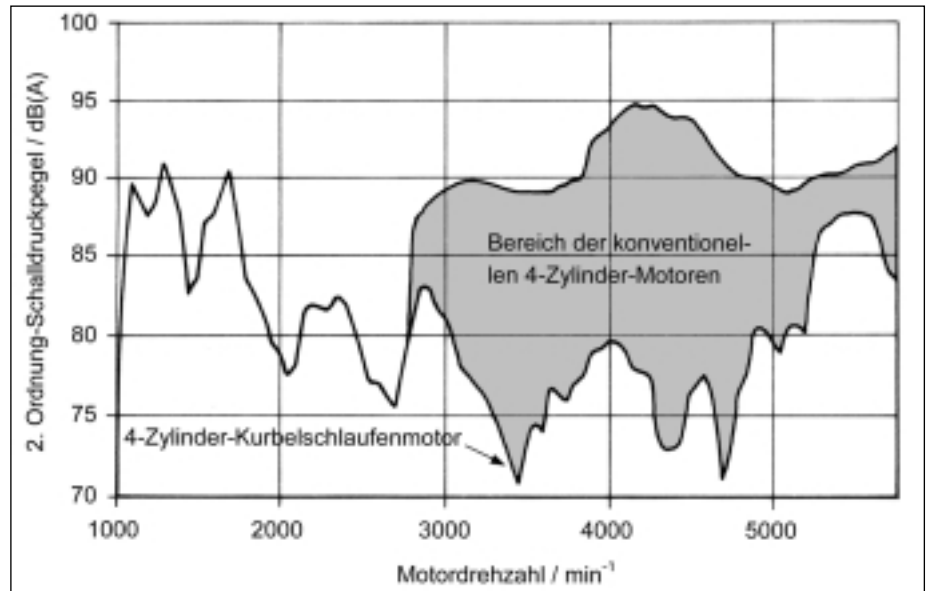


Bild 5: Vergleich der Innenraumgeräusche zwischen dem Pleuellagermotor und konventionellen Motoren bei voller Beschleunigung im 2. Gang [3]

Eigenschaften

SCHMIERUNG DES LINEARLAGERS

Die Schmierung des Linearlagers erfolgt durch eine Kombination von hydrodynamischem und hydrostatischem Schmierfilmaufbau. Die höchsten Gleitgeschwindigkeiten im Linearlager – somit auch die höchste Tragfähigkeit des Schmierfilms – fallen mit dem Auftreten der größten Pleuellagerdrücke und Massenkräfte zusam-

men (Bild 4). Durch die Anordnung der bewegten Massen erfolgt eine teilweise Kompensation der Pleuellagerkräfte durch die Trägheitskräfte (Massen von zwei Pleuellagern, zwei Pleuellagern und einem Gleitblock), so daß die resultierende Pleuellagerbelastung verringert wird. Basierend auf diesen Effekten ist es möglich, das Linearlager im Pleuellagermotor einzusetzen. Dauerlaufversuche haben gezeigt, daß die Schmierung des Linearlagers unter den hohen, alternierenden Lasten in Pleuellagermotoren keine Probleme bereitet.

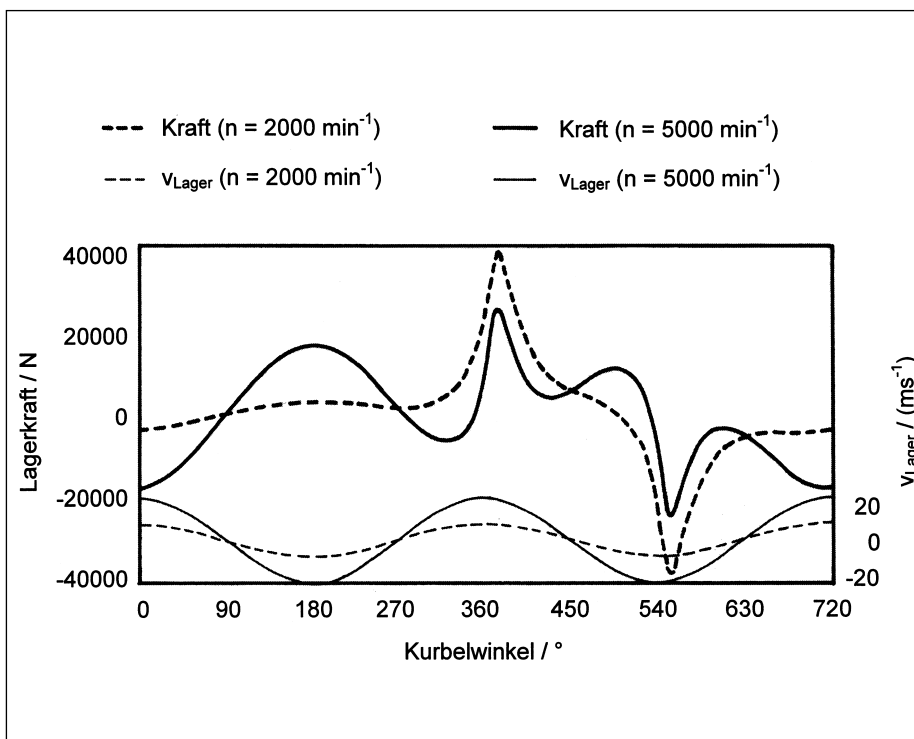


Bild 4: Kraft- und Gleitgeschwindigkeitsverhältnisse im Pleuellagermechanismus [1]

MOTORSCHWINGUNGEN UND LÄRM

Aufgrund der exakt sinusförmigen Bewegung der Pleuellager treten bei Pleuellagermotoren mit mehr als zwei Pleuellagern lediglich Pleuellagermomente um die Pleuellagerachse auf. Diese können mit einer Pleuellagerwelle, die mit Pleuellagerwellendrehzahl umläuft, kompensiert werden.

Konventionelle Motoren, bei denen die Pleuellager eine Bewegungskomponente senkrecht zur Pleuellagerachse besitzen, sind durch Momente höherer Ordnung charakterisiert, von denen in der Regel die Momente zweiter Ordnung ausgeglichen werden. Dazu sind zwei, mit doppelter Pleuellagerwellendrehzahl umlaufende Pleuellagerwellen notwendig. Dies bedeutet nicht nur höhere mechanische Verluste im Vergleich zum Pleuellagermotor, sondern ist auch mit einem höheren konstruktiven Aufwand verbunden.

Der schwingungsarme Lauf, die geringen Pleuellagergeräusche und der kompakte, steife Aufbau der Pleuellagerkurve sind die Ursachen für die äußerst niedrigen Geräuschemissionswerte des Motors. Vergleichsmessungen einer unabhängigen Institution zeigen den Vorteil der Pleuellager- ▶

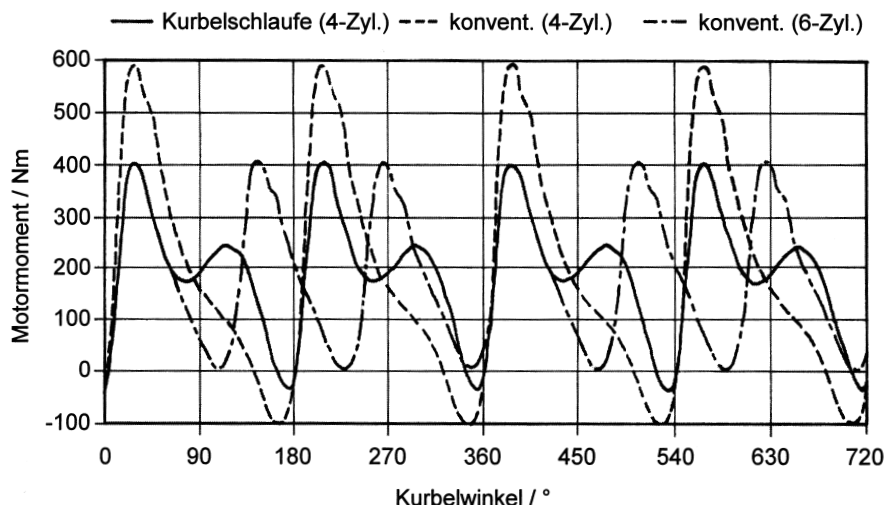


Bild 6: Vergleich der Drehmomentschwankungen für Motoren gleichen Hubraums ($n = 2500 \text{ min}^{-1}$; Vollast) [1]

belschlaufenmotoren gegenüber herkömmlichen 4-Zylinder-Motoren (Bild 5).

DREHMOMENTCHARAKTERISTIK

Ein Viertaktmotor führt innerhalb von zwei Kurbelwellenumdrehungen nur einen Arbeitstakt aus. Unter Beachtung der Zündreihenfolge entsteht somit eine oszillierende Drehmomentabgabe, die durch den Einsatz eines Schwungrads geglättet wird. Dabei gilt der Zusammenhang, daß mit höherer Schwungradmasse die Gleichförmigkeit des abgegebenen Drehmomentes zunimmt.

Kurbelschlaufenmotoren zeigen bezüglich der Gleichförmigkeit der Drehmomentabgabe Vorzüge gegenüber konventionellen Verbrennungsmotoren. Ein bei CMC durchgeführter Vergleich zwischen einem Boxermotor und einem Kurbelschlaufenmotor ergab, daß in nahezu allen Arbeitsbereichen die Drehmomentabgabe des Kurbelschlaufenmotors gleichförmiger ist (Bild 6). Dadurch ist es möglich, eine kleinere Schwungradmasse einzusetzen. Letzteres wirkt sich positiv auf das Beschleunigungsverhalten des Motors aus; aufgrund der geringeren Massenträgheit können Drehzahländerungen schneller ausgeführt werden als bei vergleichbaren konventionellen Motoren.

MOTORBAUGRÖÖE

Der Einsatz einer Kurbelschleife – als Bauelement zur Transformation der linearen Kolbenbewegung in eine Rotation der Kurbelwelle – beeinflusst entscheidend die äußeren Abmessungen des Motors. Da die Pleuel keine Bewegung senkrecht zur Zylinderachse ausführen, können sie sehr kurz gestaltet werden. Die Pleuellänge wird nur begrenzt durch den minimal erforderlichen Abstand zwischen der unteren Pleuelkontur und der Zylinderlaufbuchse (im oberen Totpunkt) und den erforderlichen Abstand zwischen dem Ölabstreifring

und dem Rand der Laufbuchse (im unteren Totpunkt). Die Verkürzung der Pleuel wirkt sich direkt auf die Breite des Motors – den Abstand zwischen den gegenüberliegenden Zylinderköpfen – aus.

Neben der Verringerung der Motorbreite ergibt sich durch den Kurbelschlaufenmechanismus auch eine geringere Motorlänge. Bei konventionellen Motoren ist jedem Zylinder ein Pleuellager zugeordnet. Im Kurbelschlaufenmotor arbeiten jedoch zwei Kolben auf einem Kurbelzapfen; einem Kolbenpaar ist ein Pleuellager zugeordnet. Durch den Wegfall des Versatzes für die Pleuellager verringert sich nicht nur die Länge des Motors; die Einsparung von zwei Kurbelwellenlagern, zwei Pleuellagern und vier Kolbenbolzen (bei einem Vierzylindermotor) sowie die verringerten Kolbenseitenkräfte führen außerdem zu einer Reduzierung der mechanischen Verluste.

Bild 7 zeigt die 1,0 l -Version eines Kurbelschlaufenmotors in einem Kleinwagen. Der Motor besitzt folgende äußere Abmessungen in mm: 580 x 315 x 300 (Breite x Höhe x Länge).

Die Kompaktheit des Kurbelschlaufenmotors könnte beispielsweise in Hybridfahrzeugen genutzt werden, bei denen neben dem Verbrennungsmotor auch der elektrische Antrieb Platz finden muß.

Zusammenfassung und Ausblick

Es hat in der Vergangenheit viele Ansätze gegeben, das bestehende Motorenkonzept grundsätzlich zu verändern. Alle Lösungen scheiterten, weil sie konstruktiv zu aufwendig und zu teuer waren oder keine deutlichen Vorteile besaßen.

Mit dem Kurbelschlaufenmotor existiert jedoch ein alternativer Antrieb, der gegenüber konventionellen Motoren deutliche Vorteile bezüglich Motorbaugröße, -schwingungen, Geräuschemissionen und mechanischem Wirkungsgrad besitzt. Dauerlaufversuche im Labor und unter realen Betriebsbedingungen (Einsatz in einem Prototypfahrzeug) haben gezeigt, daß dieser Kurbelmechanismus trotz der Linearlager für die Anwendung in Verbrennungsmotoren geeignet ist.

Es bleibt abzuwarten, inwieweit die Kurbelschlaufenmotoren bei namhaften Automobilfirmen auf Interesse stoßen und ob der Motor die harten Testkriterien dieser Unternehmen bestehen kann.

LITERATUR

- [1] Rosenkranz, H.-G.: Kurbelschlaufenmotor als kompakter und lauffruhiger Pkw-Antrieb, MTZ Nr. 58, GWV Verlagsgesellschaft mbH, Vieweg Verlag, 1997
- [2] Otto, St.: Influence of Stroke to Bore Ratio on a Scotch Yoke Engine, Studienarbeit IMW TU Clausthal, 1998
- [3] Newsletter of CMC Nr. 1/98
- [4] Newsletter of CMC Nr. 2/98

Dipl.-Ing. Steffen Otto
Institut für Maschinenwesen
Robert-Koch-Straße 32
38678 Clausthal-Zellerfeld
Telefon: 05323/72-2147
Telefax: 05323/72-3501
E-Mail: info@imw.tu-clausthal.de
http://www.imw.tu-clausthal.de



Bild 7: 1,0 l -Version eines Kurbelschlaufenmotors in einem Kleinwagen [4]