

Die Kurbelschleife als Bauelement zur Bewegungsumwandlung in Verbrennungsmotoren

Otto, St.

Der Kurbelschlaufenmechanismus ist als Bauelement zur Transformation einer Linearbewegung in eine rotatorische Bewegung seit langer Zeit bekannt. Ursprünglich wurde dieser Mechanismus ausschließlich in langsam laufenden Maschinen, wie Wasserpumpen, eingesetzt, weil die Schmierung der Linearlager große Probleme bereitete.

Dieser Artikel gibt einen kurzen Überblick über die Möglichkeit, den Kurbelschlaufenmechanismus in Verbrennungsmotoren einzusetzen und beschreibt den Aufbau und die Eigenschaften derartiger Kurbelschlaufenmotoren.

The Scotch Yoke mechanism which transforms a linear reciprocating motion into a circular rotation or vice versa has been known for a long time. It was only used in slow speed water pumps or similar machinery because of the insufficient lubrication of the linear slider bearing.

This article briefly shows the possibility to apply the Scotch Yoke mechanism in combustion engines and describes the structure and characteristics of Scotch Yoke engines.

1 Einleitung

Am Institut für Maschinenwesen wurde eine Studienarbeit betreut, die in Zusammenarbeit mit der Collins Motor Corporation Pty. Ltd. (CMC) in Melbourne durchgeführt 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.

2 Aufbau des Kurbelschlaufenmotors

2.1 Allgemeine Vorbemerkung

Die CMC-Kurbelschlaufenmotoren (**Bild 1**) sind durch eine horizontale Zylinderanordnung – ähnlich einem Boxermotor – charakterisiert und besitzen ebenso wie dieser ein geteiltes Kurbelgehäuse. Die Steuerung des Gaswechsels erfolgt durch zwei oben liegende Nockenwellen. Die neusten Versionen der CMC-Kurbelschlaufenmotoren besitzen ein

schaltbares Saugrohr. Der im folgenden beschriebene Kurbelmechanismus ist der wesentliche Unterschied zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren.

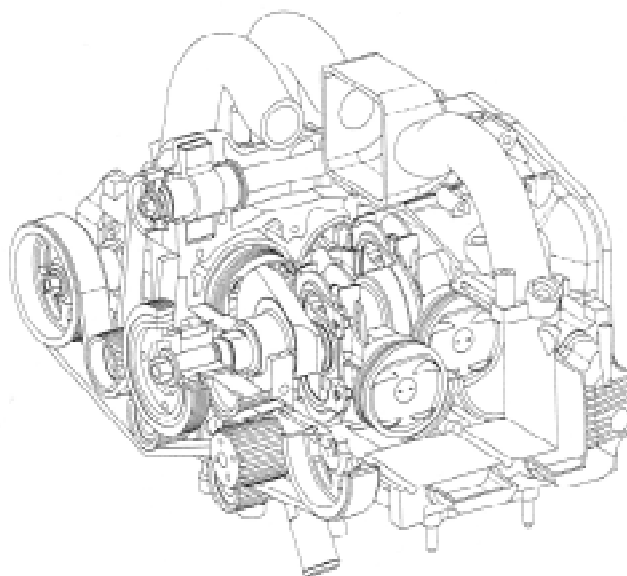


Bild 1: Schnittdarstellung eines 4-Zylinder-Kurbelschlaufenmotors /1/

2.2 Kurbelschlaufenmechanismus

Der Kurbelschlaufenmechanismus (**Bild 2**) besteht aus einem geteilten Gleitblock (1), der mit einem Gleitlager auf dem Kurbelzapfen (2) einer konventionell gestalteten Pleuellende angeordnet ist. Der Gleitblock wird seitlich von den parallelen Pleuellenden (3) geführt. Diese beiden Linearlager sind das Kernstück des Kurbelschlaufenmechanismus. Sie verhinderten in der Vergangenheit den Einsatz dieser Technik in schnelllaufenden 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 dem Linearlager in definierten Zeitintervallen zugeführt.

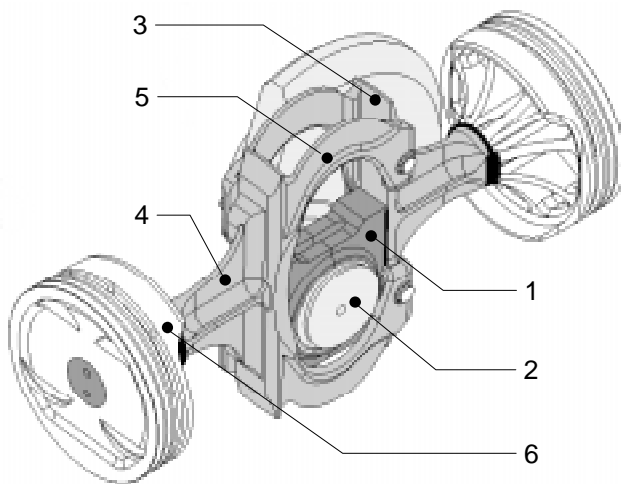


Bild 2: Aufbau des Kurbelschlaufenmechanismus /2/

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

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

3 Funktionsweise

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

Der Gleitblock bewegt sich mit dem Kurbelzapfen auf einer kreisförmigen Bahn um die Achse der Kurbelwelle (angedeutet durch den strichpunktieren Kreis). Die starr miteinander verbundenen Pleuel bewegen sich ausschließlich in Richtung der Zylinderachse; es treten keine Bewegungsanteile senkrecht zur Zylinderachse auf. Die Zündzeitpunkte der gegenüberliegend angeordneten Kolben folgen 180° KW versetzt zueinander.

Aus den Darstellungen wird deutlich, daß die Wegkomponente, die der Gleitblock in Richtung der Zylinderachse verfährt, genau der Verschiebung des Kolbens entspricht. Im Gegensatz zu konventio-

nellen Kurbelmechanismen bewegen sich demnach die Kolben beim Kurbelschlaufenmotor in einer exakt sinusförmigen Bewegung. Dies bewirkt, daß der Kurbelschlaufenmotor mit minimalem Aufwand vollständig ausbalanciert werden kann.

Während des Arbeitstaktes befindet sich der Gleitblock nahezu in der Mittelposition innerhalb der Kurbelschleife. Die Gaskraft wird direkt am Ort ihrer Einleitung (Kolbenboden) aufgenommen und auf kürzestem Wege zum Gleitblock geleitet. Die Kurbelschleife ist in dieser Position durch ein sehr starres Verhalten (kurzer Kraftfluß) charakterisiert. Daraus abgeleitet kann weiterhin festgestellt werden, daß die geringen Biegemomente durch niedrige Kolbenseitenkräfte abgestützt werden können. Hierdurch reduzieren sich nicht nur der Verschleiß zwischen Kolben und Zylinderwand, sondern auch die Kolbengeräusche.

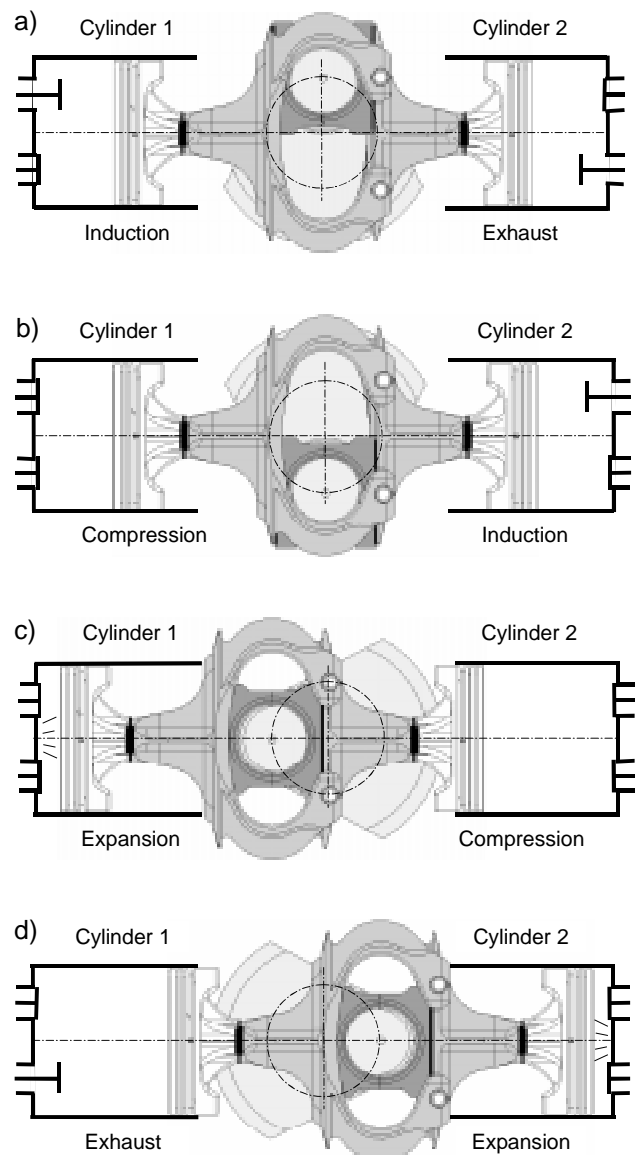


Bild 3: Arbeitszyklus /2/; a) 90° KW, b) 270° KW, c) 360° KW, d) 540° KW

Im folgenden Kapitel werden die charakteristischen Eigenschaften des Kurbelschlaufenmotors ausführlich dargestellt.

4 Eigenschaften

4.1 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 Verbrennungsdrücke und Massenkräfte zusammen (**Bild 4**). Durch die Anordnung der bewegten Massen erfolgt eine teilweise Kompensation der Gaskräfte durch die Trägheitskräfte (Massen von 2 Pleuel, 2 Kolben und einem Gleitblock), so daß die resultierende Lagerbelastung verringert wird. Basierend auf diesen Effekten ist es möglich, das Linearlager im Verbrennungsmotor einzusetzen. Dauerlaufversuche haben gezeigt, daß die Schmierung des Linearlagers unter den hohen, alternierenden Lasten in Verbrennungsmotoren keine Probleme bereitet.

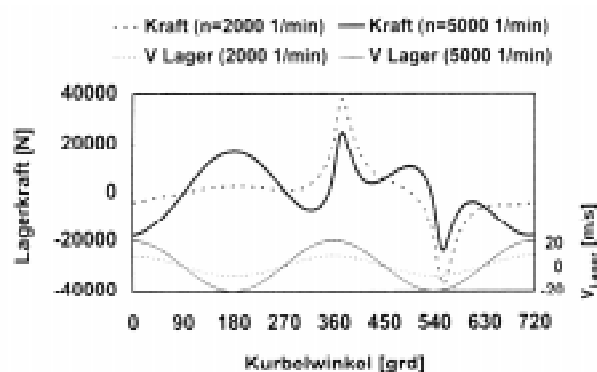


Bild 4: Kraft- und Gleitgeschwindigkeitsverhältnisse im Kurbelschlaufenmechanismus /1/

4.2 Motorschwingungen und Lärm

Auf Grund der exakt sinusförmigen Bewegung der Pleuel treten bei Kurbelschlaufenmotoren mit mehr als zwei Zylindern lediglich Giermomente um die Hochachse des Motors auf. Diese können mit **einer** Ausgleichswelle, die mit Kurbelwellendrehzahl umläuft, kompensiert werden.

Konventionelle Motoren, bei denen die Pleuel eine Bewegungskomponente senkrecht zur Pleuelrichtung besitzen, sind durch Momente höherer Ordnung charakterisiert, von denen in der Regel die Momente zweiter Ordnung ausgeglichen werden.

Dazu sind zwei, mit doppelter Kurbelwellendrehzahl umlaufende, Ausgleichswellen notwendig. Dies bedeutet nicht nur höhere mechanische Verluste im Vergleich zum Kurbelschlaufenmotor, sondern ist auch mit einem höheren konstruktiven Aufwand verbunden.

Der schwingungsarme Lauf, die geringen Pleuellagergeräusche (vgl. Kap. 3) und der kompakte, steife Aufbau der Pleuel sind die Ursachen für die äußerst niedrigen Geräuschemissionswerte des Motors. Vergleichsmessungen einer unabhängigen Institution zeigen den Vorteil der Pleuelmotoren gegenüber herkömmlichen 4-Zylinder-Motoren (**Bild 5**).

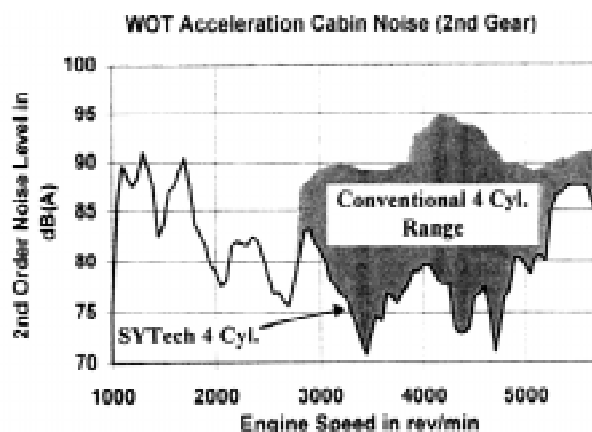


Bild 5: Vergleich der Innenraumgeräusche zwischen dem Pleuelmotor und konventionellen Motoren /3/

4.3 Drehmomentcharakteristik

Ein 4-Takt-Motor führt innerhalb von zwei Pleuellagerumdrehungen nur einen Arbeitstakt aus. Unter Beachtung der Zündreihenfolge entsteht somit eine oszillierende Drehmomentabgabe, die durch den Einsatz eines Schwungrades geglättet wird. Dabei gilt der Zusammenhang, daß mit höherer Schwungradmasse die Gleichförmigkeit des abgegebenen Drehmomentes zunimmt.

Pleuelmotoren zeigen bezüglich der Gleichförmigkeit der Drehmomentabgabe Vorzüge gegenüber konventionellen Verbrennungsmotoren. Ein bei CMC durchgeführter Vergleich zwischen einem Boxermotor und einem Pleuelmotor ergab, daß in nahezu allen Arbeitsbereichen die Drehmomentabgabe des Pleuelmotors gleichförmiger ist (**Bild 6**). Dadurch ist es möglich, eine kleinere Schwungradmasse einzusetzen. Letzteres wirkt sich positiv auf das Beschleunigungsverhalten des Motors aus; aufgrund der ge-

ringeren Massenträgheit können Drehzahländerungen schneller ausgeführt werden als bei vergleichbaren konventionellen Motoren.

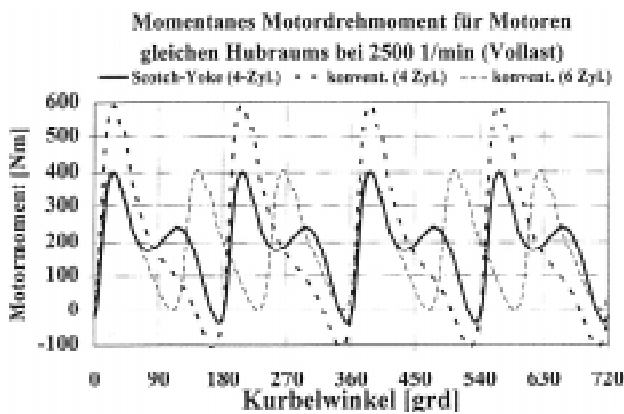


Bild 6: Vergleich der Drehmomentschwankungen /1/

4.4 Motorbaugröße

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 dem 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 sowie die verringerten Kolbenseitenkräfte (vgl. Kap. 3) 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:

580x315x300 (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.

5 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.

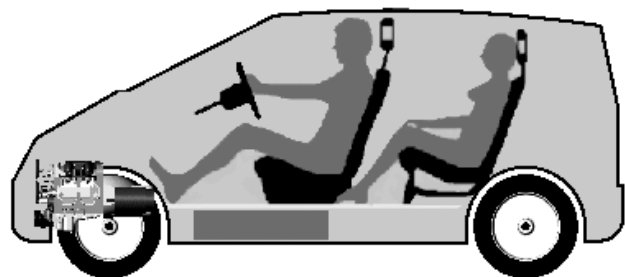


Bild 7: 1,0 l –Version eines Kurbelschlaufenmotors in einem Kleinwagen /4/

6 Literatur

- /1/ Rosenkranz, H.-G.: Kurbelschlaufenmotor als kompakter und laufruhiger 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