

## **Synchronisiergetriebe für ein Wellenarray**

Ziel dieser Erfindung ist allgemein eine verbesserte, mehrachsige Drehkolbenmaschine z.B. nach US2410341, FR1199521, DE19738132 und DE102006018183. Diese Drehkolbenarraymaschinen haben sich trotz ihrer konstruktiven Einfachheit, ihrer hohen Leistungsdichte und ihrer großen Laufruhe bislang nicht durchsetzen können, weil unter anderem die Kopplung der Rotorwellen technisch noch nicht zufriedenstellend gelöst wurde. Vielversprechende Anwendungen gäbe es bei der Nutzung erneuerbarer Energien.

Ziel dieser Erfindung ist speziell die kostengünstige, spielfreie und reibungsarme Drehsynchronisierung eines Wellenarrays, also von regelmäßig angeordneten, achsparallelen Wellen einer Drehkolbenarraymaschine.

Bislang wurden drei Möglichkeiten zur Kopplung der Wellen vorgeschlagen: Die erste sind Zahnräder, die zweite eine Kurbelmechanik, die dritte ein elektronisches Getriebe.

Zahnräder wie in US2410341 sind nicht nur teuer in ihrer Herstellung, sondern können wegen ihres Spiels bei den Drehkolbenmaschinen zu Dichtungsproblemen führen. Nachteilig ist außerdem ihr Verschleiß, ihre Reibung, ihre Geräuschentwicklung. Von Vorteil sind ihr geringer Platzbedarf und die nicht vorhandene Unwucht.

Die Kopplung mit Kurbeln und einer Pleuelplatte wie in FR1199521 ist grundsätzlich spielfrei, und es gibt hier wegen der besonderen Anzahl und Anordnung der Kurbeln auch keinen Totpunkt, wie man es von einer Pleuelstange zwischen nur zwei Kurbeln her kennt. Allerdings erzeugt die Pleuelplatte schon bei mäßiger Drehzahl eine erhebliche Unwucht mit den bekannten Nachteilen wie Vibration, erhöhtem Verschleiß und großen

Kräften, die an den Wellen biegen und zerren und dadurch ebenfalls Dichtungsprobleme verursachen können. Selbst wenn man die Unwucht mit Gegengewichten ausgleichen würde, so würde das auf jeden Fall die Lager der Platte stark belasten.

Beim elektronischen Getriebe wie in DE19738132 ist jede Welle mit einem Elektromotor verbunden und in ihrer Drehbewegung elektronisch geregelt. Grundsätzlich verbraucht so ein System Energie, was einer hohen Reibung entspricht. Der Aufwand ist enorm und die Motorkräfte begrenzt. Bei Ausfall und Abschaltung der Regelung drehen sich die Drehkolben unkontrolliert und können einander beschädigen.

Die vorliegende Erfindung vermeidet die genannten Nachteile des Standes der Technik und bildet letzteren in vorteilhafter Weise weiter.

Die Erfindung ist ein so genanntes Schubscheibengetriebe, wie es in Figur 1 dargestellt ist. Es entspricht grob der eingangs erwähnten Kurbelmechanik mit Pleuelplatte, aber die Kurbeln sind erfindungsgemäß durch Exzentrerscheiben ersetzt, und die Pleuelplatte durch eine besondere Anordnung von Rollkörpern, die zwischen den Exzentrerscheiben eingezwängt sind.

Die Kraftübertragung zwischen den Exzentrerscheiben erfolgt rein schiebend über die eingezwängten Rollkörper. Figur 2 zeigt die Kraftlinien in einer ersten Getriebeebene, entlang derer die Kräfte wirken. Für die unverzichtbare Übertragung auch ziehender Kräfte wird erfindungsgemäß eine gleichartige, zweite Getriebeebene benötigt, die gegenüber der ersten um  $180^\circ$  verdreht und über die gemeinsamen Wellen mit dieser gekoppelt ist, so dass die schiebenden Kräfte der zweiten Ebene äquivalent sind mit scheinbar ziehenden Kräften der ersten.

Die Kraftlinien haben insbesondere Komponenten in Richtung jeder Verbindungslinie zwischen den Mittelachsen benachbarter Exzentrerscheiben, so dass man die eingezwängten Rollkörper in Gedanken durch Schubstangen ersetzen kann, die zwischen je zwei benachbarten Exzentrerscheiben bestehen, oder eben durch eine Pleuelplatte. Man kann daraus ableiten, dass die Exzentrerscheiben vollständig und ohne Totpunkte in ihrer Drehbewegung gekoppelt sind, und folglich auch die mit den Exzentrerscheiben drehfest verbundenen Wellen.

Form und Lage der Rollkörper sind erfindungsgemäß so gewählt, dass sie sich relativ zueinander nicht verschieben können, auch nicht unter Krafteinwirkung. Zwischen den sich synchron drehenden Exzentrerscheiben besteht ein formunveränderlicher Zwischenraum, in dessen vier Ecken sich so genannte Schubscheiben befinden. Eine so genannte Tragscheibe in der Mitte des Zwischenraumes verhindert, dass die Schubscheiben ihre Ecken verlassen. Dabei stützen sich die Schubscheiben rollend auf die Exzentrerscheiben, und die Tragscheiben stützen sich rollend auf die Schubscheiben. Jede Schubscheibe ist im Querschnitt stabil an drei Punkten gelagert, und jede Tragscheibe an vier. Der Raum zwischen den Exzentrerscheiben ist somit durch Schub- und Tragscheiben stabil abgestützt und kann sich nicht weiter verkleinern.

Exzentrerscheiben können sich nur um ihre Wellenachsen drehen. Ein Hineindreihen in einen abgestützten Zwischenraum ist dabei nicht möglich. Ein Herausdrehen ist aber auch nicht möglich, denn dazu müssten sich die gekoppelten, komplementären Exzentrerscheiben der anderen Getriebeebe in einen dortigen Zwischenraum hinein drehen. Da sich Exzentrerscheiben weder zu einem Zwischenraum hin noch von einem weg drehen können, ist die Form eines Zwischenraumes unveränderlich, die Schub- und Tragscheiben sind im Querschnitt stabil eingezwängt, und es

ist keine Drehung der Exzentrerscheiben außer einer synchronen möglich.

In axialer Richtung wird eine Lagestabilisierung eingezwängten Rollkörper erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass die Rollflächen sowohl der Exzentrerscheiben als auch der Tragscheiben mit umlaufenden Rillen versehen sind, und die Rollflächen der Schubscheiben mit dazu passenden, umlaufenden Auswölbungen. Die Rollkörper sind somit formschlüssig in axialer Richtung verzahnt und können ihre jeweilige Getriebeebene nicht verlassen. Ihr Kippen wird durch eine ausreichende Breite der Rollflächen verhindert.

Eine Getriebeebene ist erst im Zusammenwirken mit ihren drehbar gelagerten Wellen stabil. Das formschlüssige Zusammenfügen der Rollkörper muss also erfolgen, noch bevor ihre Lage durch die Wellen festgelegt ist. Zur erleichterten Montage werden daher erfindungsgemäß die Komponenten einer Getriebeebene zuerst auf einer Tischplatte lagerichtig zusammengestellt und in einer besonderen Halterung fixiert. Mit dieser Halterung werden sie dann alle gleichzeitig auf die bereits gelagerten Wellen gesteckt, und schließlich wird die Halterung wieder entfernt.

Die Wellen sind dabei zweckmäßig als Profilwellen ausgeführt, vorzugsweise als Vierkantwellen, und die Exzentrerscheiben sind mit dazu passenden Löchern versehen. Erfindungsgemäß werden die Exzentrerscheiben und auch weitere Elemente auf die Wellen gesteckt und dort mit Schraubkeilen und Abstandstücken genau positioniert.

Mit vorliegender Erfindung werden die folgenden Vorteile erreicht.

Im Gegensatz zu der Kurbelmechanik mit Pleuelplatte ist das Schubscheibengetriebe praktisch unwuchtfrei. Die Unwuchten der

komplementären Getriebeebenen gleichen sich beinahe exakt aus, wenn ihr axialer Abstand klein ist. Anstelle einer schweren Pleuelplatte mit kräftigen Lagern gibt es nur kleine Ringe zwischen Exzentrerscheiben, die insgesamt leichter sind als jedes bekannte Pleuel, und die zudem auf relativ großen Radien rollen, also mit weniger Reibung als bei den besten Kugellagern. Da alle Schubkräfte rein parallel zur Getriebeebene verlaufen, und nicht etwa über biegender beanspruchte, seitlich abstehende Kurbelzapfen, kann das Schubscheibengetriebe mit wenig Material sehr viel Kraft übertragen. Auf Grund seiner Leichtigkeit, seiner Stabilität und seiner ausgeglichenen Massenverteilung kann das Schubscheibengetriebe deutlich höhere Drehzahlen erreichen als jedes Kurbelgetriebe.

Im Gegensatz zu der Zahnradmechanik benötigt ein Schubscheibengetriebe kein Spiel, so dass man solches auch nicht bei der Auslegung etwa von Drehkolben zugeben muss, was natürlich deren Dichtigkeit beeinträchtigen würde. Im Gegenteil, man könnte sogar die Rollkörper elastisch mit einem negativen Spiel fertigen und unter Spannung zusammenbauen, so dass sie etwa beim wärmebedingten Auseinanderrücken der Wellen nachfedern. Beim Schubscheibengetriebe schlagen keine Zähne aufeinander, die dadurch Geräusche und Vibrationen erzeugen würden, winzige Biegeschwingungen auf Wellen und Drehkolben, die man womöglich bei letzteren durch weitere Spielzugabe berücksichtigen müsste. Es gibt kaum Verschleiß.

Eine Schmierung der Rollflächen ist, falls erforderlich, sehr einfach: Ein kleiner Tropfen Schmiermittel an einem Punkt einer Rollfläche aufgebracht verteilt sich nach einigen wenigen Umdrehungen gleichmäßig auf alle Rollflächen einer Getriebeebene.

Das Schubscheibengetriebe ist ausgesprochen kostengünstig. Die Herstellung seiner wenigen Komponenten gelingt mit geringer technischer Ausstattung. Es genügen Drehbank und Bohrmaschine, sowie eine Räumpresse für die Vierkantlöcher. Die Fertigung kann daher insbesondere auch in kleineren Betrieben erfolgen.

Nachfolgend werden die Zeichnungen näher erläutert.

Figur 1 zeigt perspektivische Darstellungen des Schubscheibengetriebes, teilweise im Schnitt. Die gezeichnete Ausführung umfasst drehbar gelagerte Wellen (1) mit Vierkantprofil, darauf gesteckte Exzentrerscheiben (2), Schubscheiben (3), Tragscheiben (4), außerdem Kugellager (5) und Schraubkeile (6). Es gibt zwei Getriebeebenen, die um  $180^\circ$  gegeneinander verdreht sind. Im Schnitt hervorgehoben sind die umlaufenden Rillen an den Exzentrerscheiben und Tragscheiben, sowie die dazu passenden Auswölbung an den Schubscheiben, die das Getriebe in axialer Richtung stabilisieren.

Figur 2 zeigt den Grundriss einer ersten Getriebeebene mit Kraftlinien. Die Skizze umfasst Wellen (1), Exzentrerscheiben (2), Schubscheiben (3), Tragscheiben (4). Die geraden Linien symbolisieren Kräfte, die zwischen den Mittelachsen der Rollkörper wirken.

## Patentansprüche

1. Getriebe zur Synchronisierung eines Wellenarrays,

also einer Mehrzahl drehbar gelagerter Wellen, deren Drehachsen an ganzzahligen und zusammenhängenden, kartesischen x-y-Koordinaten in z-Richtung verlaufen, wobei aber hier jede Welle einer Vierergruppe angehören muss, mit je einer Welle auf den x-y-Koordinaten  $\{i,j\}$ ,  $\{i+1,j\}$ ,  $\{i+1,j+1\}$  und  $\{i,j+1\}$ , für jedes aus einer die Form des Arrays bestimmenden Menge ganzzahliger und zusammenhängender  $\{i,j\}$ -Paare,

umfassend folgende Komponenten, die alle Rollkörper mit z-paralleler Rollachse sind und jeweils einer von wenigstens zwei x-y-parallelen Getriebeebenen k mit z-Koordinate  $z_k$  angehören, und deren x-y-Positionen von einer Phase  $\varphi$  abhängen, nämlich

so genannte Exzentrerscheiben, mit einem Radius  $r_{E,k} < 1/2$  auf der Höhe  $z_k$ , mit einer Drehachse an einer der x-y-Koordinaten  $\{i,j\}$ ,  $\{i+1,j\}$ ,  $\{i+1,j+1\}$  oder  $\{i,j+1\}$ , mit einer drehfesten Verbindung zu der dort befindlichen Welle, mit einer Rollachse, die gegenüber der Drehachse um den x-y-Vektor  $V_k := \{e_k \cos(\varphi+m_k), e_k \sin(\varphi+m_k)\}$  verschoben ist, mit einem Montagewinkel  $0 \leq m_k < 360^\circ$ , und mit einem Exzentrizitätsparameter  $0 \leq e_k < R_{E,k}$ ,

so genannte Schubscheiben, mit einem Radius  $r_{S,k} < 1/2$  auf der Höhe  $z_k$ , mit einer Dreh- und Rollachse an einer der x-y-Koordinaten  $\{i+1/2, j+h_k\}+V_k$ ,  $\{i+1-h_k, j+1/2\}+V_k$ ,  $\{i+1/2, j+1-h_k\}+V_k$  oder  $\{i+h_k, j+1/2\}+V_k$ , mit  $h_k := ((r_{E,k}+r_{S,k})^2-1/4)^{1/2}$ ,

so genannte Tragscheiben, mit einem Radius  
 $r_{L,k} = 1/2 - h_k - r_{S,k}$  auf der Höhe  $z_k$ , mit einer Dreh- und  
Rollachse an einer der x-y-Koordinaten  $\{i+1/2, j+1/2\} + V_k$ ,

dadurch gekennzeichnet,

dass alle der oben genannten Komponenten an allen für  
sie in Frage kommenden Positionen existieren,

dass alle Schubscheiben zwischen den ihnen benachbarten  
Exzenter- und Tragscheiben stabil eingezwängt sind,  
diese berühren und auf diesen rollen, und insbesondere  
Schubkräfte übertragen können,

dass alle Tragscheiben zwischen den ihnen benachbarten  
Schubscheiben stabil eingezwängt sind, diese berühren  
und auf diesen rollen, und insbesondere Schubkräfte  
übertragen können,

dass Exzenter Scheiben einander nicht berühren,

dass Exzenter Scheiben und Tragscheiben einander nicht  
berühren,

dass die Gesamtheit aller Montagewinkel  $m_k$  den Vollwinkel  
derart aufteilt, dass kein Teilwinkel größer als  $180^\circ$   
ist.

2. Getriebe nach Anspruch 1, wobei die Anzahl der  
Getriebeebenen 2 ist und die beiden Montagewinkel um  
 $180^\circ$  differieren.
3. Getriebe nach Anspruch 1 oder 2, wobei alle  
Getriebeebenen aus gleichen Komponenten aufgebaut sind.

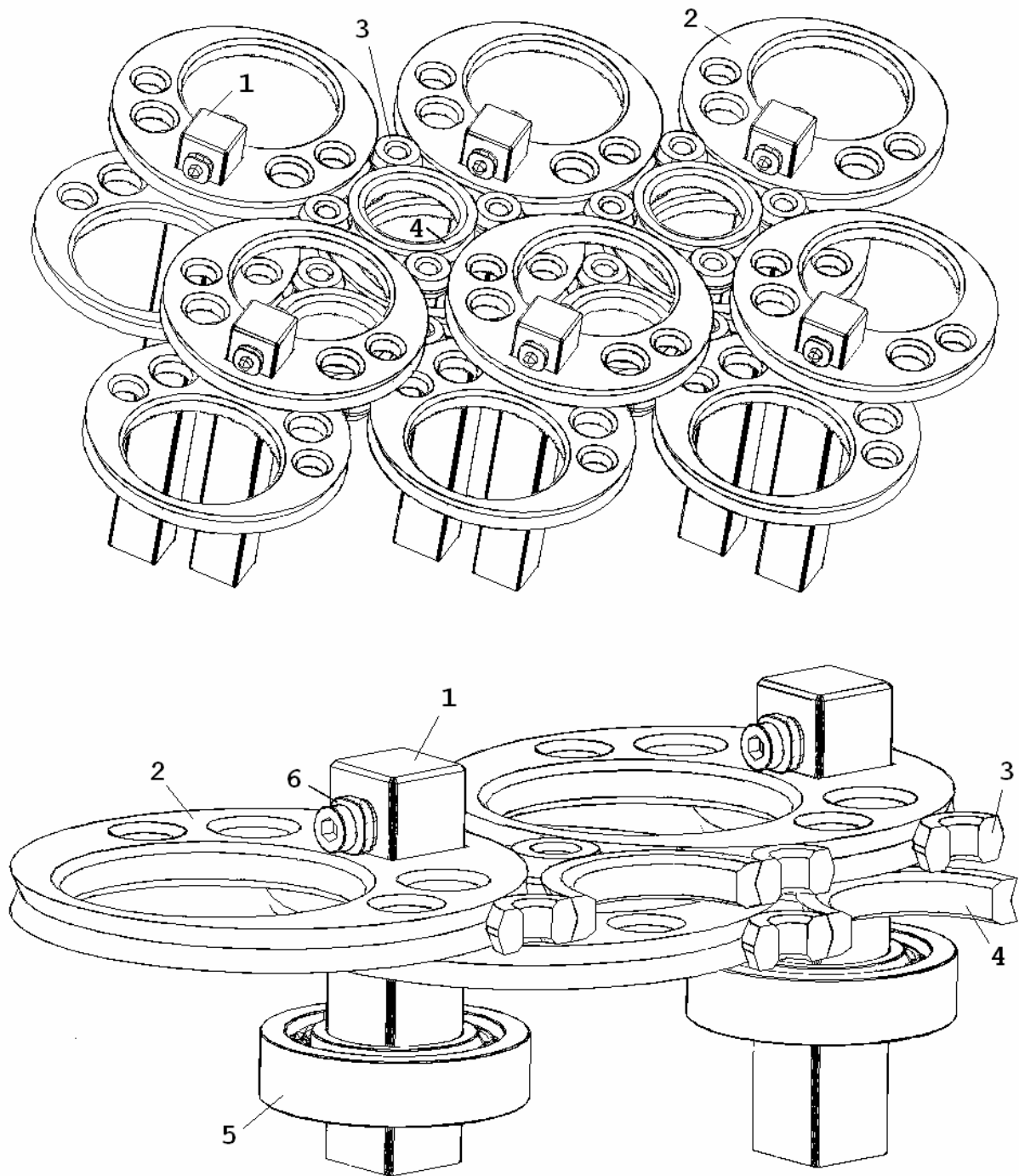
4. Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Rollflächen der Rollkörper komplementär mit umlaufenden Profilen versehen sind, so dass ein Verrutschen der Rollkörper, insbesondere der Schub- und Tragscheiben, in z-Richtung nicht möglich ist.
5. Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wellen wenigstens teilweise oder stellenweise einen nichttrunden Querschnitt haben, der die drehfeste Montage von Exzentrerscheiben und auch anderen Elementen auf den Wellen erleichtert, sofern diese mit einem formschlüssig zum Wellenquerschnitt passenden Loch versehen sind.
6. Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Exzentrerscheiben und auch weitere Elemente mittels Schraubkeilen und Abstandstücken auf und entlang der Welle positioniert und gehalten werden.
7. Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Rollkörper zur Gewichtersparnis, aber auch zum Erzielen einer gewissen Elastizität mit Materialausparungen versehen, oder speziell ringförmig gestaltet sind.
8. Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens einer der Rollkörper außergewöhnlich elastisch ist, so dass das Getriebe Drehmomentstöße abfedern kann, aber auch die Verformung eines Maschinengehäuses ausgleichen, die etwa durch Wärmedehnung oder durch äußere Kräfte verursacht ist.
9. Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens ein außergewöhnlich elastischer Rollkörper leicht zusammengedrückt eingebaut ist, so dass dieser bei einer Vergrößerung des Wellenabstandes etwa durch

Wärmedehnung nachfedert und auch in diesem Fall die spielfreie Kopplung der Wellen gewährleistet.

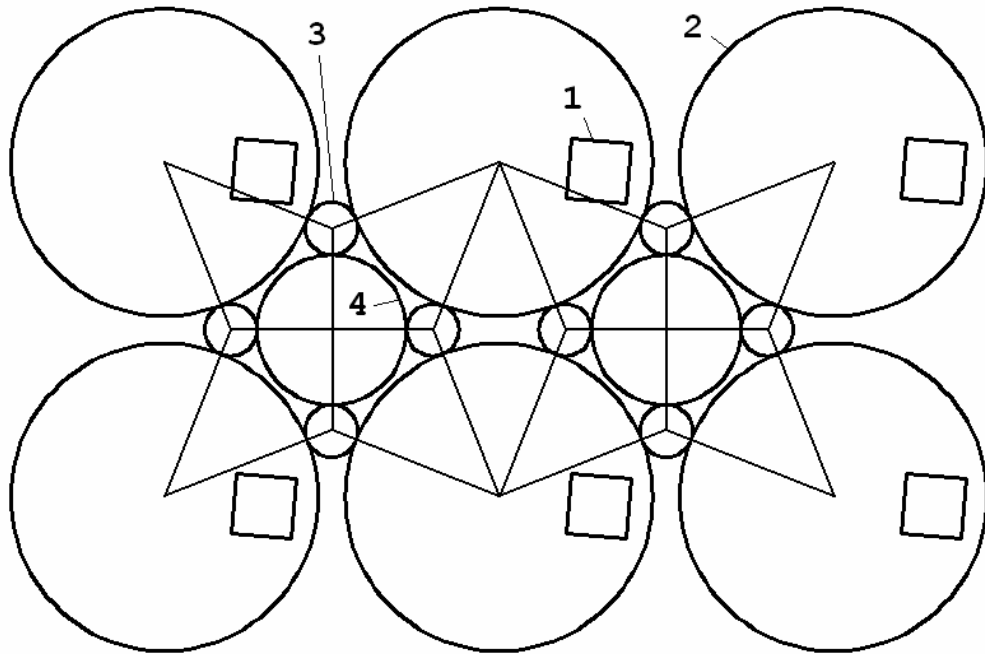
10. Getriebe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei dieses insbesondere die Drehbewegung von Drehkolben einer Drehkolbenmaschine synchronisiert, etwa bei einem Gaskompressor, einem Gasdruckmotor, einer Wärmekraftmaschine, einer Wärmepumpe.
11. Verfahren zur erleichterten Montage eines Getriebes nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei man eine Mehrzahl von Getriebekomponenten, etwa alle Komponenten einer Getriebeebe, zunächst lagerichtig zusammenstellt und dann in einer Halterung fixiert, um sie mit dieser Halterung alle gleichzeitig auf die Wellen zu stecken, und danach wird die Halterung wieder entfernt.
12. Variante eines Getriebes nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wellen in der x-y-Ebene anders regelmäßig angeordnet sind, mit einer entsprechend anderen Anordnung von eingezwängten Rollkörpern zwischen den Exzentrerscheiben.
13. Variante eines Getriebes nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei jede Welle einer Dreiergruppe angehört, mit je drei Wellen an den Spitzen eines gleichseitigen Dreiecks in der x-y-Ebene, und mit einer einzigen, eingezwängten Schubscheibe zwischen deren drei Exzentrerscheiben.

## **Zusammenfassung**

Die Erfindung betrifft ein zahnradloses Getriebe zur Drehsynchronisierung eines Wellenarrays, also von regelmäßig angeordneten, achsparallelen Wellen, insbesondere zum Aufbau einer mehrachsigen Drehkolbenmaschine. Das so genannte Schubscheibenge triebe umfasst runde Exzentrerscheiben, die drehfest mit den Wellen verbunden sind, sowie weitere Rollkörper, die zwischen den Exzentrerscheiben eingezwängt sind und dort eine Kraftübertragung vermitteln.



Figur 1. Schubscheibengetriebe.



Figur 2. Getriebeebene mit Kraftlinien.