

Zylinder und Verfahren zum Bestimmen einer Position eines Kolbens in einem Zylinder

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Zylinder, insbesondere zur Verwendung in einem hydraulischen System, und ein Verfahren zum Bestimmen einer Position eines Kolbens in einem Zylinder, insbesondere zur Verwendung in einem hydraulischen System.

Stand der Technik

Zur Messung von einer Position eines Kolbens in einem Zylinder, insbesondere einem Hydraulikzylinder, sind verschiedenartige Messverfahren bekannt. Auf Laufzeitmessungen von Ultraschallsignalen basierende Verfahren zeichnen sich durch eine hohe Robustheit aus und erfordern keine Bohrung des Kolbens. So ist aus der US 6 119 579 A ein Messverfahren bekannt, wobei Ultraschallsensoren außen am Zylinder angeordnet sind und anhand der Laufzeit des Ultraschallmesssignals die Position des Kolbens bestimmt wird.

Diese Verfahren sind jedoch abhängig von dem Wellenausbreitungsmedium, im Falle von Hydraulikzylindern einem Hydrauliköl, da die Schallgeschwindigkeit vom Druck und der Temperatur des Hydrauliköls sowie von der Ölsorte abhängt. Insbesondere Verschmutzungen des Wellenausbreitungsmediums, beispielsweise durch Metallpartikel oder Luftblasen, führen aufgrund von Kavitationserscheinungen zu weiteren Ungenauigkeiten und potentiellen Messfehlern.

Offenbarung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Zylinder, insbesondere zur Verwendung in einem hydraulischen System, mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und ein Verfahren zum Bestimmen einer Position eines Kolbens in einem Zylinder, insbesondere zur Verwendung in einem hydraulischen System mit den Merkmalen des Patentanspruchs 6.

Die vorliegende Erfindung schafft demnach gemäß einem ersten Aspekt einen Zylinder, insbesondere zur Verwendung in einem hydraulischen System, mit einem

Zylindergehäuse mit einer zylindrischen Seitenwand, einem axial verschiebbar in dem Zylindergehäuse angeordneten Kolben, mindestens einer Signaleinspeisevorrichtung, welche an dem Zylindergehäuse, das heißt an der Seitenwand oder einer Außenwand in axialer Richtung des Zylindergehäuses angeordnet ist und ausgebildet ist, ein
5 Ultraschallsignal derart auszusenden, dass sich das Ultraschallsignal entlang einer Innenseite der Seitenwand des Zylindergehäuses ausbreitet, mindestens einer Empfängervorrichtung, welche an dem Zylindergehäuse angeordnet ist und ausgebildet ist, das von dem Kolben reflektierte Ultraschallsignal zu empfangen, und einer Auswertevorrichtung, welche ausgebildet ist, anhand einer Laufzeit des
10 Ultraschallsignals zwischen einem Aussenden des Ultraschallsignals durch die Signaleinspeisevorrichtung und einem Empfangen des Ultraschallsignals durch die Empfängervorrichtung eine Position des Kolbens zu bestimmen. Insbesondere wird das Ultraschallsignal kann das Ultraschallsignal von einer Dichtung des Kolbens reflektiert werden.

15 Die vorliegende Erfindung schafft demnach gemäß einem zweiten Aspekt ein Verfahren zum Bestimmen einer Position eines Kolbens in einem Zylinder, insbesondere zur Verwendung in einem hydraulischen System. Das Verfahren umfasst das Aussenden eines Ultraschallsignals auf ein Zylindergehäuse mit einer zylindrischen Seitenwand, derart, dass sich das Ultraschallsignal entlang einer Innenseite der Seitenwand des
20 Zylindergehäuses ausbreitet. Weiter umfasst das Verfahren das Empfangen des von dem axial verschiebbar in dem Zylindergehäuse angeordneten Kolben reflektierten Ultraschallsignals, und das Berechnen einer Position des Kolbens anhand einer Laufzeit des Ultraschallsignals zwischen Aussenden und Empfangen des Ultraschallsignals.

25 Bevorzugte Weiterbildungen sind Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche.

Vorteile der Erfindung

30 Es ist zu beachten, dass die Erfindung vielfältig anwendbar ist. So umfasst der Begriff „Zylinder“ insbesondere Pneumatikzylinder, Hydraulikzylinder oder Hubzylinder, wie sie in einer Vielzahl von Maschinen Verwendung finden. Der Zylinder kann hierbei mit einer einem beliebigen Fluid gefüllt sein, insbesondere mit beliebigen Flüssigkeiten oder Gasen. Auch ist die Erfindung nicht auf eine bestimmte Form des Zylinders
35 beschränkt. Weiter kann der verschiebbar im Zylindergehäuse angeordnete Kolben insbesondere auch eine Membran umfassen.

Das Ausbreitungsmedium des Ultraschallsignals ist die Innenseite der Seitenwand des Zylindergehäuses. Eine Wellenausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschallsignals ist daher gut berechenbar, da die Eigenschaften der Zylinderwand bekannt sind. Die Schallgeschwindigkeit bzw. die Gruppengeschwindigkeit des Ultraschallsignals in der Zylinderwand des erfindungsgemäßen Zylinders hängt lediglich von der Wellenmode und von der Schallfrequenz in der Zylinderwand ab. Die Eigenschaften der Zylinderwand bleiben jedoch während der gesamten Betriebsdauer des Zylinders weitestgehend unverändert und die Abhängigkeiten der Ultraschallausbreitung können somit in deterministischer und reproduzierbarer Weise einberechnet werden. Diese Abhängigkeit lässt sich einfach bei einem Sensoreinbau kalibrieren und bleibt über die Lebensdauer des Zylinders hinweg konstant. Der erfindungsgemäße Zylinder unterscheidet sich somit von Zylindern mit Ultraschallsensoren, bei welchen sich das Ultraschallsignal in dem Hydrauliköl ausbreitet. Insbesondere ist eine hohe Messgenauigkeit möglich.

Die Bestimmung der Kolbenposition ist also gegenüber den Betriebsbedingungen des Hydrauliköls äußerst robust. Des Weiteren ist eine Nachrüstbarkeit von Signaleinspeisevorrichtung, Empfängervorrichtung und Auswertevorrichtung für bestehende Zylinder einfach möglich.

Gemäß einer Weiterbildung umfasst der Zylinder einen Aufsatz, welcher an der Seitenwand des Zylindergehäuses angeordnet ist, und einen auf dem Aufsatz angeordneten Sender. Hierbei ist der Sender ausgebildet, das Ultraschallsignal durch den Aufsatz hindurch auszusenden, so dass eine Ultraschallwelle, welche das Ultraschallsignal trägt, unter einem Einfallswinkel auf das Zylindergehäuse trifft. Weiter ist der Einfallswinkel so gewählt, dass das Ultraschallsignal an einer Grenzfläche von Aufsatz und Zylindergehäuse derart gebrochen wird, dass sich das Ultraschallsignal entlang einer Innenseite der Seitenwand des Zylindergehäuses ausbreitet. Die Brechung des Ultraschallsignals ist nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz bekannt, so dass durch eine geeignete Wahl des Aufsatzes bei bekanntem Brechungsindex des Aufsatzes durch Einstellen des Einfallswinkels gewährleistet werden kann, dass sich das Ultraschallsignal parallel zur Innenseite der Seitenwand des Zylindergehäuses ausbreitet.

Gemäß einer Weiterbildung ist die Signaleinspeisevorrichtung an der Seitenwand des Zylindergehäuses angeordnet und umfasst mindestens zwei Elektroden, welche kammförmig angeordnet sind, und ausgebildet sind, ein Ultraschallsignal auszusenden. Durch die elektrische Einspeisung des Ultraschallsignals mittels Elektroden kann die Signaleinspeisevorrichtung sehr klein gehalten werden, so dass ein geringerer Platzverbrauch entsteht.

Gemäß einer Weiterbildung ist die Signaleinspeisevorrichtung an einer Außenwand in axialer Richtung des Zylindergehäuses angeordnet und weist mindestens eine Scherplatte auf, welche in einer Richtung parallel zur Außenwand des Zylindergehäuses verschiebbar ist und mit dem Zylindergehäuse durch Reibung gekoppelt ist, wobei durch periodisches Verschieben der Scherplatte an der Außenwand des Zylindergehäuses ein Ultraschallsignal auf das Zylindergehäuse übertragbar ist, welches sich entlang einer Innenseite der Seitenwand des Zylindergehäuses ausbreitet. Unter dem Begriff „Scherplatte“ ist hierbei eine Platte oder ein Plättchen, insbesondere eine ebene metallische Platte zu verstehen, welche ein Gegenstück, welches insbesondere ebenfalls eben und metallisch ausgebildet sein kann, flächig kontaktiert und parallel zur Kontaktfläche entlang dieses Gegenstücks hin und her bewegt.

Ein Zylinder gemäß dieser Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass die Signalübertragung an einer Unterseite und nicht an einer Seitenwand des Zylinders erfolgt, was bei bestimmten Anforderungen an den Zylinder von Vorteil sein kann, da kein Platzverbrauch an der Seitenwand entsteht.

Gemäß einer Weiterbildung sind die Signaleinspeisevorrichtungen bzw. die Empfängervorrichtungen in axialer Richtung jeweils voneinander beabstandet angeordnet. Der Zylinder umfasst eine Steuervorrichtung, welche ausgebildet ist, ein Aussenden eines Ultraschallsignals durch die Signaleinspeisevorrichtungen und ein Empfangen des reflektierten Ultraschallsignals durch die Empfängervorrichtungen in einem Multiplexing-Verfahren, insbesondere einem Zeitmultiplexingverfahren oder einem Frequenzmultiplexingverfahren, zu steuern. Die Erfindung ist hiermit skalierbar und für Zylinder beliebiger Größe geeignet, da die Kolbenposition an unterschiedlichen Positionen von den Empfängervorrichtungen erfasst werden kann. Die Kolbenposition kann also insbesondere auch bei langen Zylindern genau bestimmt werden.

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens ist die Steuervorrichtung ausgebildet, die Signaleinspeisevorrichtungen derart zu steuern, dass die Signaleinspeisevorrichtungen zeitversetzt Ultraschallsignale aussenden, wobei ein Zeitunterschied zwischen dem Aussenden zweier Ultraschallsignale durch verschiedene Signaleinspeisevorrichtungen größer ist als die Laufzeit der Ultraschallsignale.

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens erfolgt das Aussenden des Ultraschallsignals durch einen Aufsatz hindurch, welcher an der Seitenwand des Zylindergehäuses angeordnet ist. Hierbei trifft das Ultraschallsignal unter einem Einfallswinkel auf das Zylindergehäuse und der Einfallswinkel ist so gewählt, dass das Ultraschallsignal an der Grenzfläche von Aufsatz und Zylindergehäuse derart gebrochen wird, dass sich das Ultraschallsignal entlang einer Innenseite der Seitenwand des Zylindergehäuses ausbreitet.

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens erfolgt das Aussenden des Ultraschallsignals mittels mindestens zweier Elektroden, welche kammförmig an der Seitenwand des Zylindergehäuses angeordnet sind.

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens erfolgt das Aussenden des Ultraschallsignals durch Verschieben einer Scherplatte auf einer Außenwand in einer radialen Richtung, wobei die Scherplatte mit der Außenwand durch Reibung gekoppelt ist.

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens wird das Aussenden des Ultraschallsignals bzw. das Empfangen des reflektierten Ultraschallsignals an verschiedenen Positionen des Zylindergehäuses in einem Multiplexing-Verfahren, insbesondere einem Zeitmultiplexingverfahren oder einem Frequenzmultiplexingverfahren durchgeführt. Durch eine Verwendung von verschiedenen Signaleinspeisevorrichtungen kann eine Genauigkeit der Messung der Position des Kolbens erhöht werden. Beispielsweise kann jede der Signaleinspeisevorrichtungen für einen bestimmten Abschnitt des Zylinders zuständig sein. Dadurch kann eine Verringerung der Genauigkeit aufgrund von einer begrenzten Reichweite des Messbereichs durch Schalldämpfung entlang der Ausbreitungsstrecke des Ultraschallsignals verhindert werden. Quereinflüsse zwischen den verschiedenen Signaleinspeisevorrichtungen können durch Multiplexingstrategien verhindert werden. Vorzugsweise können auch Schallwellenfrequenzbereiche für die

Ultraschallsignale durch die verschiedenen Signaleinspeisevorrichtungen verwendet werden.

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens werden die Ultraschallsignale an den
5 verschiedenen Positionen des Zylindergehäuses zeitversetzt ausgesendet, wobei ein
Zeitunterschied zwischen dem Aussenden zweier Ultraschallsignale an verschiedenen
Positionen des Zylindergehäuses größer ist als die Laufzeit der Ultraschallsignale.
Da die Schallgeschwindigkeit, das heißt die Ausbreitungsgeschwindigkeit der
10 Ultraschallsignale wesentlich höher als die Kolbengeschwindigkeit ist, hat ein
Zeitmultiplexingverfahren keinen Einfluss auf die Genauigkeit des Messsystems.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Es zeigen:

15 Fig. 1 einen Zylinder gemäß einer ersten Ausführungsform der
vorliegenden Erfindung;

20 Fig. 2 einen Zylinder gemäß einer zweiten Ausführungsform der
vorliegenden Erfindung;

25 Fig. 3 eine Draufsicht auf eine Elektrodenstruktur einer
Signaleinspeisevorrichtung gemäß der zweiten Ausführungsform
der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 einen Zylinder gemäß einer dritten Ausführungsform der
vorliegenden Erfindung;

30 Fig. 5 einen Zylinder gemäß einer vierten Ausführungsform der
vorliegenden Erfindung; und

Fig. 6 ein Flussdiagramm für ein Verfahren zum Bestimmen einer
Position eines Kolbens in einem Zylinder.

35 In allen Figuren sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente und Vorrichtungen
– sofern nichts anderes angegeben ist – mit denselben Bezugszeichen versehen.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Figur 1 zeigt einen Zylinder 100, insbesondere einen Hydraulikzylinder zur Verwendung in einem hydraulischen System. Der Zylinder 100 umfasst ein Zylindergehäuse 102 mit einer zylindrischen Seitenwand 103, welche axial um eine Symmetrieachse des Zylinders 100 ausgebildet ist, und einer ersten Außenwand 104 in axialer Richtung des Zylindergehäuses 102, welche den Zylinder 100 in axialer Richtung begrenzt. Gegenüber der ersten Außenwand 104 ist in einer zweiten Außenwand 115 des Zylindergehäuses 102 eine Öffnung 105 ausgebildet, in welcher ein Kolben 101 axial verschiebbar eingeführt ist. Eine Position des Kolbens 101 ist durch einen Abstand x von der ersten Außenwand 104 bestimmt. Die zylindrische Seitenwand 103 des Zylindergehäuses 102 weist eine Innenseite 103a und eine in radialer Richtung außenliegende Außenseite 103b auf. Der Kolben 101 weist hierbei eine Dichtung 101a auf, welche einen radialen Außenbereich des Kolbens 101 bildet, die Außenseite 103b des Zylindergehäuses kontaktiert und zur Abdichtung eines Druckraums 116 zwischen dem Kolben 101 und der ersten Außenwand 104 des Zylindergehäuses 102 dient.

An der zylindrischen Seitenwand 103 ist eine Signaleinspeisevorrichtung 106 angeordnet. Die Signaleinspeisevorrichtung 106 umfasst einen Aufsatz 106a, welcher an der Außenseite 103b der zylindrischen Seitenwand 103 des Zylindergehäuses 102 angeordnet ist. Der Aufsatz 106a besteht hierbei vorzugsweise aus Metall mit einem ersten Brechungsindex n_1 , wobei sich der erste Brechungsindex n_1 von einem zweiten Brechungsindex n_2 des Zylindergehäuses 102 unterscheidet.

Die Erfindung ist jedoch nicht hierauf beschränkt. So kann der Aufsatz 106a auch in die zylindrische Seitenwand 103 eingelassen sein.

Auf dem Aufsatz 106a ist ein Sender 106b angeordnet, welcher ausgebildet ist, ein Ultraschallsignal 108 durch den Aufsatz hindurch auszusenden. Das Ultraschallsignal 108 ist hierbei typischerweise auf eine Ultraschallwelle aufmoduliert. Das Ultraschallsignal kann insbesondere auch ein Wellenpaket sein.

Der Aufsatz 106a ist keilförmig ausgebildet, so dass das von dem Sender 106b ausgebildete Ultraschallsignal 108 unter einem Einfallswinkel φ_1 bezüglich einer Flächennormalen 109 auf die zylindrische Seitenwand 103 trifft. An der Grenzfläche 110 zwischen Aufsatz 106a und zylindrischer Seitenwand 103 wird das Ultraschallsignal 108 bzw. die das Ultraschallsignal 108 tragende Ultraschallwelle gebrochen. Der Brechungswinkel bestimmt sich hierbei aus dem Snelliusschen Brechungsgesetz, das heißt nach folgender Formel:

$$n_1 \cdot \sin(\varphi_1) = n_2 \cdot \sin(\varphi_2).$$

Hierbei ist φ_2 der Austrittswinkel des Ultraschallsignals 108 im Zylindergehäuse 102. Bei bekannten Brechungsindexen n_1 und n_2 des Aufsatzes und des Zylindergehäuses 102 wird der Einfallswinkel φ_1 derart eingestellt, dass der Ausfallswinkel φ_2 im Wesentlichen 90° ist, so dass sich das Ultraschallsignal entlang der Innenseite 103a der Seitenwand 103 des Zylindergehäuses 102 ausbreitet. Das Ultraschallsignal 108 läuft also parallel zur zylindrischen Seitenwand 103. Eine derartige das Ultraschallsignal 108 tragende Ultraschallwelle, welche sich an der Innenseite 103a der Seitenwand 103 bzw. innerhalb der Seitenwand 103 des Zylindergehäuses 102 ausbreitet, wird als Rayleigh- oder als Scholte-Welle bezeichnet.

Das Ultraschallsignal 108 bzw. die das Ultraschallsignal 108 tragende Ultraschallwelle wird an einer der Signaleinspeisevorrichtung 106 zugewandten vorderen Position 114 der Dichtung 101a des Kolbens 101 reflektiert und pflanzt sich anschließend in entgegengesetzter Richtung fort. Das reflektierte Ultraschallsignal 108 wird von einer Empfängervorrichtung 107 empfangen. Die Empfängervorrichtung 107 ist hierbei vorzugsweise ähnlich wie die Signaleinspeisevorrichtung 106 ausgebildet, das heißt die Empfängervorrichtung 107 weist ebenfalls einen Aufsatz 107a und einen darauf angeordneten Empfänger 107b auf.

Die Empfängervorrichtung 107 und die Signaleinspeisevorrichtung 106 sind mit einer Steuervorrichtung 111 verbunden. Die Steuervorrichtung 111 steuert die Signaleinspeisevorrichtung 106. Die Steuervorrichtung 111 umfasst eine Auswertevorrichtung 112, welche ausgebildet ist, anhand einer Laufzeit Δt des Ultraschallsignals 108 zwischen einem Aussenden des Ultraschallsignals 108

durch die Signaleinspeisevorrichtung 106 und einen Empfangen des reflektierten
Ultraschallsignals 108 durch die Empfängervorrichtung 107 die Position des
Kolbens 101, das heißt den Abstand x zwischen erster Außenwand 104 und
Kolben 101, zu bestimmen. Die Auswertevorrichtung 112 misst dazu einen ersten
5 Zeitpunkt t_1 des Aussendens des Ultraschallsignals 108 durch die
Signaleinspeisevorrichtung 106 und einen zweiten Zeitpunkt t_2 des Empfangens
des reflektierten Ultraschallsignals 108 durch die Empfängervorrichtung 107. Die
Laufzeit Δt des Ultraschallsignals 108 ist damit gegeben durch $\Delta t = t_2 - t_1$. Die
Auswertevorrichtung 112 berücksichtigt beim Bestimmen einer Position des
10 Kolbens 101 einen bekannten Abstand x_2 der Signaleinspeisevorrichtung 106 und
einen bekannten Abstand x_1 der Empfängervorrichtung 107 von der ersten
Außenwand 104 des Zylindergehäuses 102. Eine Gesamtlaufstrecke Δy des
Ultraschallsignals 108 zwischen Senden und Empfangen berechnet sich gemäß
folgender Formel:

$$\Delta y = v \cdot \Delta t,$$

wobei v die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschallsignals 108 in dem
Material der zylindrischen Seitenwand 103 ist. Die Gesamtlaufstrecke Δy des
20 Ultraschallsignals 108 ist gleich $2y_1 + x_2 - x_1$, wobei y_1 der Abstand der
Signaleinspeisevorrichtung 106 von dem Kolben 101 ist, und wobei Abstände d_1
bzw. d_2 des Senders 106b bzw. des Empfängers 107b von der zylindrischen
Seitenwand 103, jeweils gemessen unter dem Einfallswinkel φ_1 , vernachlässigt
werden, da diese klein sind gegenüber dem Abstand y_1 der
25 Signaleinspeisevorrichtung 106 von dem Kolben 101 sowie einem Abstand $x_2 -$
 x_1 von Signaleinspeisevorrichtung 106 und Empfängervorrichtung 107.

Somit ergibt sich für den Abstand x des Kolbens von der ersten Außenwand 104:

$$x = x_2 + y_1 = x_2 + (v \cdot \Delta t + x_1 - x_2) / 2.$$

Die Auswertevorrichtung 112 ist ausgebildet, anhand dieser Formel den Abstand
 x des Kolbens von der ersten Außenwand 104 zu messen.

Ist beispielsweise die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschallsignals 108 in
dem Material der zylindrischen Seitenwand 103 gleich 1500 m/s und ist der

Abstand x_2 der Signaleinspeisevorrichtung 106 von der ersten Außenwand 104 des Zylindergehäuses 102 gleich 10 cm und der Abstand x_1 der Empfängervorrichtung 107 von der ersten Außenwand 104 des Zylindergehäuses 102 gleich 12 cm, und ist die Laufzeit Δt des Ultraschallsignals 108 gleich 1 ms, so ergibt sich für den Abstand x des Kolbens von der ersten Außenwand 104:

$$x = (v \cdot \Delta t + x_1 + x_2) / 2 = (150 \text{ cm} + 10 \text{ cm} + 12 \text{ cm}) / 2 = 86 \text{ cm}.$$

Die Auswertevorrichtung 112 kann weiter ausgerichtet sein, eine Reflexion des Ultraschallsignals 108 an der zweiten Außenwand 115 zu berücksichtigen, wobei diese Reflexion von einem Teil des Ultraschallsignals herrührt, welches nicht bereits am vorderen Punkt 114 der Dichtung 101a des Kolbens 101 reflektiert wurde. Weiter kann die Auswertevorrichtung 112 ausgebildet sein, die Abstände d_1 bzw. d_2 des Senders 106b bzw. des Empfängers 107b von der zylindrischen Seitenwand 103 zu berücksichtigen.

Weiter ist die Auswertevorrichtung 112 ausgebildet, eine Schallenergieabstrahlung des Ultraschallsignals 108 in ein Hydrauliköl im Inneren des Zylinders zu berücksichtigen. Insbesondere wird eine Intensität des Ultraschallsignals 108 derart gewählt, dass ein hinreichendes Signalrauschverhältnis bei der Signalauswertung gewährleistet wird.

Die Erfindung ist nicht hierauf beschränkt. So kann die Auswertevorrichtung 112 auch mit der Signaleinspeisevorrichtung 106 identisch sein.

Figur 2 zeigt einen Zylinder 200 gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Hierbei ist die Signaleinspeisevorrichtung 201 mit der Empfängervorrichtung 201 identisch und besteht aus Elektroden 201a. Die Elektroden 201a umfassen eine erste Elektrode 201a-1 und eine zweite Elektrode 201a-2, welche kammförmig ausgebildet sind, wobei die erste Elektrode 201a-1 mit der zweiten Elektrode 201a-2 verzahnt ist, wie in Figur 3 illustriert. Durch Anlegen eines Stroms kann ein Ultraschallsignal direkt auf die Seitenwand 103 des Zylindergehäuses 102 übertragen werden, wobei sich das Ultraschallsignal in einer axialen Richtung entlang der Innenseite 103a der Seitenwand 103 beziehungsweise innerhalb der Seitenwand 103 ausbreitet. Die Signaleinspeisevorrichtung 201 dient auch als Empfängervorrichtung 201 des

Ultraschallsignals. Die Auswertevorrichtung 112, welche mit der Signaleinspeisevorrichtung bzw. der Empfängervorrichtung 201 verbunden ist, ist wiederum ausgebildet, eine Position des Kolbens 101 anhand der Laufzeit Δt des Ultraschallsignals zu bestimmen. Die Auswertevorrichtung 112 berücksichtigt hierbei einen bekannten Abstand x_3 der Empfängervorrichtung bzw. Signaleinspeisevorrichtung 201 von der ersten Außenwand 104 des Zylinders. Die Auswertevorrichtung 112 ist ausgebildet, den Abstand x des Kolbens 101 von der ersten Außenwand 104 gemäß folgender Formel zu berechnen:

$$x = x_3 + v \cdot \Delta t / 2.$$

Ein Abstand d der Zähne der kammförmigen Elektroden 201a-1 und 201a-2 entspricht hierbei einer Wellenlänge λ des Ultraschallsignals, wobei die Wellenlänge λ vorzugsweise zwischen 2 und 7 mm liegt und vorzugsweise gleich 5 mm ist.

Die Erfindung ist nicht hierauf beschränkt. So kann die Empfängervorrichtung auch von der Signaleinspeisevorrichtung 201 unterschieden sein. Insbesondere kann eine Empfängervorrichtung, welche ähnlich wie die Signaleinspeisevorrichtung 201 aufgebaut ist, neben der Signaleinspeisevorrichtung 201 an der zylindrischen Seitenwand 103 angeordnet sein.

Figur 4 zeigt einen Zylinder 400 gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In diesem Fall ist eine Signaleinspeisevorrichtung 401 an der ersten Außenwand 104 angeordnet. Die Signaleinspeisevorrichtung 401 umfasst hierbei eine vorzugsweise metallische Scherplatte 403, welche in einer radialen Richtung 404, das heißt in einer Richtung 404 parallel zur ersten Außenwand 104 des Zylindergehäuses 102 verschiebbar ist. Die Scherplatte 403 ist hierbei mit dem Zylindergehäuse 102 mechanisch, das heißt durch Reibung gekoppelt. Durch periodisches Verschieben der Scherplatte 403 in der Richtung 404 parallel zur ersten Außenwand 104 des Zylindergehäuses ist die Signaleinspeisevorrichtung 401 ausgebildet, ein Ultraschallsignal auf das Zylindergehäuse 102 zu übertragen. Das Ultraschallsignal 108 breitet sich entlang der Innenseite 103a der Seitenwand 103 aus.

Die Signaleinspeisevorrichtung 401 dient hierbei gleichzeitig als Empfänger-
vorrichtung, welche das von der Dichtung 101a des Kolbens 101
reflektierte Ultraschallsignal 108 empfängt. Die Auswertevorrichtung 112 der mit
der Signaleinspeisevorrichtung 401 gekoppelten Steuervorrichtung 111 ist hierbei
5 ausgebildet, eine Position des Kolbens 101, das heißt ein Abstand x des Kolbens
101 von der ersten Außenwand 104 anhand der Laufzeit Δt des Ultraschallsignals
108 gemäß folgender Formel zu berechnen:

$$x = v \cdot \Delta t / 2.$$

Die Empfänger-
vorrichtung kann jedoch auch von der Signaleinspeisevorrichtung
401 verschieden sein und beispielsweise neben der Signaleinspeisevorrichtung
401 an der ersten Außenwand 104 angeordnet sein.

Figur 5 zeigt einen Zylinder 500 gemäß einer vierten Ausführungsform der
vorliegenden Erfindung. Gemäß dieser Ausführungsform sind vier
Ultraschallvorrichtungen 502a bis 502d in Abständen x_a bis x_d von der zweiten
ersten Außenwand 115 in axialer Richtung beabstandet an der zylindrischen
Seitenwand 103 des Zylindergehäuses 102 angeordnet. Die
20 Ultraschallvorrichtungen 502a bis 502d umfassen hierbei jeweils eine
Signaleinspeisevorrichtung und eine Empfänger-
vorrichtung gemäß einer der oben
beschriebenen Ausführungsformen. Die Ultraschallvorrichtungen 502a bis 502d
sind jeweils mit der Steuervorrichtung 111 gekoppelt. Die Steuervorrichtung 111
umfasst zusätzlich eine Multiplexing-Vorrichtung 501, welche die
25 Ultraschallvorrichtungen 502a bis 502d steuert. Die Multiplexing-Vorrichtung
501 ist insbesondere ausgerichtet, die Ultraschallvorrichtungen 502a bis 502d in
einem Zeit-Multiplexing-Verfahren oder in einem Frequenz-Multiplexing-
Verfahren anzusteuern. Das heißt, beispielsweise senden die
Signaleinspeisevorrichtungen der jeweiligen Ultraschallvorrichtungen 502a bis
30 502d in bestimmten vorgegebenen Zeitabständen zeitversetzt ein Ultraschallsignal
108 aus. Der Zeitunterschied zwischen dem Aussenden der Ultraschallsignale
durch die verschiedenen Ultraschallvorrichtungen 502a bis 502d ist hierbei
vorzugsweise größer als die Laufzeit des Ultraschallsignals 108 zwischen dem
Aussenden und dem Empfangen. Gemäß dem Frequenz-Multiplexing-Verfahren
35 können die Ultraschallsignale der Ultraschallvorrichtungen 502a bis 502d auch

gleichzeitig ausgesendet werden, wobei sich die Frequenzbereiche der ausgesendeten Ultraschallsignale unterscheiden.

5 Anhand der empfangenen Laufzeiten kann die Auswertevorrichtung 112 wiederum eine Position des Kolbens 101, das heißt einen Abstand x des Kolbens von der ersten Außenwand 104 bestimmen. Wenn aus den Laufzeiten der verschiedenen Ultraschallvorrichtungen 502a bis 502d unterschiedliche Distanzen x des Kolbens 101 bestimmt werden, so kann beispielsweise ein Mittelwert gebildet werden. Vorzugsweise kann jedoch auch demjenigen Messergebnis, 10 welches von derjenigen Ultraschallvorrichtung resultiert, welche sich anhand der Messungen am Nächsten am Kolben 101 befindet, bevorzugt werden, und anhand dieses Messergebnisses die Position des Kolbens 101 bestimmt werden.

15 Figur 6 zeigt ein Flussdiagramm zur Erläuterung eines Verfahrens zum Bestimmen einer Position eines Kolbens 101 in einem Zylinder. Das Verfahren umfasst einen ersten Schritt S1 des Aussendens eines Ultraschallsignals 108 auf ein Zylindergehäuse 102 mit einer zylindrischen Seitenwand 103. Das Ultraschallsignal wird hierbei derart ausgesandt, dass es sich entlang einer Innenseite 103a der Seitenwand 103 des Zylindergehäuses 102, das heißt in einer 20 axialen Richtung ausbreitet. Das Aussenden kann hierbei insbesondere durch eine der in den obigen Ausführungsformen beschriebenen Signaleinspeisevorrichtungen durchgeführt werden.

25 Das Verfahren umfasst weiter einen zweiten Schritt S2 des Empfangens des von einer Dichtung 101a eines sich im Inneren des Zylindergehäuses 102 befindlichen Kolbens 101 reflektierten Ultraschallsignals 108. Hierbei wird vorzugsweise eine der oben beschriebenen Empfängervorrichtungen verwendet.

30 Schließlich umfasst das Verfahren einen dritten Schritt des Berechnens einer Position des Kolbens 101, das heißt eines Abstandes x des Kolbens 101 von einer ersten Außenwand 104 des Zylinders 103. Das Berechnen der Position wird hierbei anhand einer Laufzeit Δt des Ultraschallsignals 108 zwischen dem Aussenden und dem Empfangen des Ultraschallsignals berechnet.

Ansprüche

1. Zylinder (100; 200; 400; 500), insbesondere zur Verwendung in einem hydraulischen System, mit
- 5 einem Zylindergehäuse (102) mit einer zylindrischen Seitenwand (103);
einem axial verschiebbar in dem Zylindergehäuse (102) angeordneten Kolben (101);
mindestens einer Signaleinspeisevorrichtung (106; 201; 401), welche an
10 dem Zylindergehäuse (103) angeordnet ist und ausgebildet ist, ein
Ultraschallsignal (108) derart auszusenden, dass sich das Ultraschallsignal
(108) entlang einer Innenseite (103a) der Seitenwand (103) des
Zylindergehäuses (102) ausbreitet;
mindestens einer Empfängervorrichtung (107; 201; 401), welche an dem
15 Zylindergehäuse (102) angeordnet ist und ausgebildet ist, das von dem
Kolben (101) reflektierte Ultraschallsignal (108) zu empfangen; und
einer Auswertevorrichtung (112), welche ausgebildet ist, anhand einer
Laufzeit (Δt) des Ultraschallsignals (108) zwischen einem Aussenden des
Ultraschallsignals (108) durch die Signaleinspeisevorrichtung (106; 201; 401)
20 und einem Empfangen des Ultraschallsignals (108) durch die
Empfängervorrichtung (107; 201; 401) eine Position (x) des Kolbens (101) zu
bestimmen.
2. Zylinder (100; 200; 400; 500) nach Anspruch 1, wobei die
- 25 Signaleinspeisevorrichtung (106; 201; 401) umfasst:
einen Aufsatz (106a), welcher an der Seitenwand (103) des
Zylindergehäuses (102) angeordnet ist, und
einen auf dem Aufsatz (106a) angeordneten Sender (106b),
wobei der Sender (106b) ausgebildet ist, das Ultraschallsignal (108) durch
30 den Aufsatz hindurch auszusenden, so dass das Ultraschallsignal (108) unter
einem Einfallswinkel (ϕ_1) auf das Zylindergehäuse (102) trifft,
wobei der Einfallswinkel (ϕ_1) so gewählt ist, dass eine Ultraschallwelle,
welche das Ultraschallsignal (108) trägt, an einer Grenzfläche (110) von
Aufsatz (106a) und Zylindergehäuse (102) derart gebrochen wird, dass sich
35 das Ultraschallsignal (108) entlang einer Innenseite (103a) der Seitenwand
(103) des Zylindergehäuses (102) ausbreitet.

3. Zylinder (100; 200; 400; 500) nach Anspruch 1, wobei die
Signaleinspeisevorrichtung (106; 201; 401) an der Seitenwand (103) des
Zylindergehäuses (102) angeordnet ist und mindestens zwei Elektroden (201a-1,
201a-2) umfasst, welche kammförmig angeordnet sind, und ausgebildet sind, ein
Ultraschallsignal (108) auszusenden.
4. Zylinder (100; 200; 400; 500) nach Anspruch 1, wobei die
Signaleinspeisevorrichtung (106; 201; 401) an einer Außenwand (104) in axialer
Richtung des Zylindergehäuses (102) angeordnet ist und mindestens eine
Scherplatte (403) aufweist, welche in einer Richtung (404) parallel zur
Außenwand (104) des Zylindergehäuses (102) verschiebbar ist und mit dem
Zylindergehäuse (102) durch Reibung gekoppelt ist,
wobei durch periodisches Verschieben der Scherplatte (403) an der
Außenwand (104) des Zylindergehäuses (102) ein Ultraschallsignal (108) auf
das Zylindergehäuse (102) übertragbar ist, welches sich entlang einer
Innenseite (103a) der Seitenwand (103) des Zylindergehäuses (102)
ausbreitet.
5. Zylinder (500) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
wobei die Signaleinspeisevorrichtungen (502a bis 502d) bzw. die
Empfängervorrichtungen (502a bis 502d) in axialer Richtung jeweils
voneinander beabstandet angeordnet sind, und
wobei der Zylinder (500) eine Steuervorrichtung (111) umfasst, welche
ausgebildet ist, ein Aussenden eines Ultraschallsignals (108) durch die
Signaleinspeisevorrichtungen (502a bis 502d) und ein Empfangen des
reflektierten Ultraschallsignals (108) durch die Empfängervorrichtungen
(502a bis 502d) in einem Multiplexing-Verfahren, insbesondere einem
Zeitmultiplexingverfahren oder einem Frequenzmultiplexingverfahren, zu
steuern.
6. Zylinder (500) nach Anspruch 5,
wobei die Steuervorrichtung (111) ausgebildet ist, die
Signaleinspeisevorrichtungen (502a bis 502d) derart zu steuern, dass die
Signaleinspeisevorrichtungen (502a bis 502d) zeitversetzt Ultraschallsignale
(105) aussenden,

wobei ein Zeitunterschied zwischen dem Aussenden zweier Ultraschallsignale (108) durch verschiedene Signaleinspeisevorrichtungen (502a bis 502d) größer ist als die Laufzeit (Δt) der Ultraschallsignale (108).

5

7. Verfahren zum Bestimmen einer Position (x) eines Kolbens (101) in einem Zylinder (100; 200; 400; 500), insbesondere zur Verwendung in einem hydraulischen System, mit den Schritten:

10

Aussenden (S1) eines Ultraschallsignals (108) auf ein Zylindergehäuse (102) des Zylinders (100; 200; 400; 500) mit einer zylindrischen Seitenwand (103), derart, dass sich das Ultraschallsignal (108) entlang einer Innenseite (103a) der Seitenwand (103) des Zylindergehäuses (102) ausbreitet,

Empfangen (S2) des von dem axial verschiebbar in dem Zylindergehäuse (102) angeordneten Kolben (101) reflektierten Ultraschallsignals (108),

15

Berechnen (S3) einer Position (x) des Kolbens (101) anhand einer Laufzeit (Δt) des Ultraschallsignals (108) zwischen Aussenden und Empfangen des Ultraschallsignals (108).

8. Verfahren nach Anspruch 7,

20

wobei das Aussenden des Ultraschallsignals (108) durch einen Aufsatz (106a) hindurch erfolgt, welcher an der Seitenwand (103) des Zylindergehäuses (102) angeordnet ist,

wobei das Ultraschallsignal (108) unter einem Einfallswinkel (ϕ_1) auf das Zylindergehäuse (102) trifft, und

25

wobei der Einfallswinkel (ϕ_1) so gewählt ist, dass das Ultraschallsignal (108) an der Grenzfläche von Aufsatz (106a) und Zylindergehäuse (102) derart gebrochen wird, dass sich das Ultraschallsignal (108) entlang einer Innenseite (103a) der Seitenwand (103) des Zylindergehäuses (102) ausbreitet.

30

9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das Aussenden des Ultraschallsignals (108) mittels mindestens zweier Elektroden (201a-1, 201a-2) erfolgt, welche kammförmig an der Seitenwand (103) des Zylindergehäuses (102) angeordnet sind.

35

10. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das Aussenden des Ultraschallsignals (108) durch Verschieben einer Scherplatte (401) auf einer Außenwand (104) in einer radialen Richtung (403) erfolgt, wobei die Scherplatte (401) mit der Außenwand (102) durch Reibung gekoppelt ist.
- 5
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei das Aussenden des Ultraschallsignals (108) bzw. das Empfangen des reflektierten Ultraschallsignals (108) an verschiedenen Positionen des Zylindergehäuses (102) in einem Multiplexing-Verfahren, insbesondere einem Zeitmultiplexingverfahren oder einem Frequenzmultiplexingverfahren durchgeführt wird.
- 10
12. Verfahren nach Anspruch 11,
- 15
- wobei die Ultraschallsignale (105) an den verschiedenen Positionen des Zylindergehäuses (102) zeitversetzt ausgesendet werden, und
- wobei ein Zeitunterschied zwischen dem Aussenden zweier Ultraschallsignale (108) an verschiedenen Positionen des Zylindergehäuses größer ist als die Laufzeit (Δt) der Ultraschallsignale (108).