



Beiträge zur Entwicklung hydraulischer Linearantriebe mit hoher Steifigkeit

Bearbeiter: Bruno Lindenberg

Kurzfassung der Diplomarbeit von Bruno Lindenberg (Oktober 1997)

1. Motivation

Wird ein unbelasteter, weit ausgefahrener hydraulischer Stellzylinder sprungartig belastet, so kommt es zu einer unerwünschten Bewegung des Systems analog einer gedämpften Schwingung. Ein Vergleich des mittleren Kompressionsmoduls K von Hydrauliköl mit dem Elastizitätsmodul E von Stahl zeigt, daß Hydrauliköl etwa 130fach „weicher“ ist als Stahl. Analog der mechanischen Steifigkeit eines Stabes lässt sich mit der Kolbenfläche A , dem Kompressionsmodul K und der Länge der Ölsäule im Zylinder $l_{\text{Öl}}$ die hydraulische Steifigkeit

$$c_h = \frac{A \cdot K}{l_{\text{Öl}}}$$

definieren. Da die Kolbenfläche A aus Gründen des Wirkungsgrades nur so groß gewählt werden soll, dass bei gegebenem Druck die benötigte maximale Kraft erreicht wird, und da der Kompressionsmodul K näherungsweise als konstant angesehen werden kann, lässt sich die hydraulische Steifigkeit nur über die Länge der Ölsäule beeinflussen. Die geforderte hohe hydraulische Steifigkeit kann somit durch einen sehr geringen Kolbenhub erreicht werden. Für einen großen Stellweg ist die Summe vieler kleiner Kolbenhübe oder Schritte notwendig. Diese Idee meines Betreuers Professor Dr. Rudolf Scheidl eines hydraulischen Linearantriebes, der nur kleine durch Druckimpulse gesteuerte Schritte ausführt, wird in Analogie zur Elektrotechnik als hydraulischer Schrittmotor bezeichnet.

2. Aufgabenbeschreibung

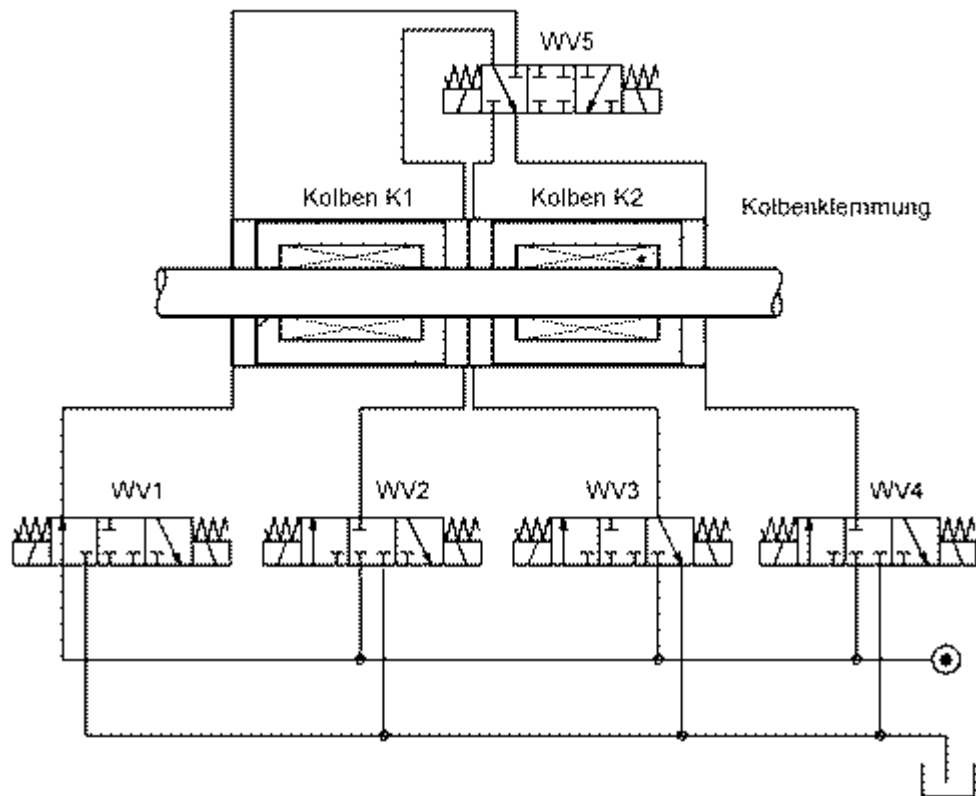
Die Aufgabe dieser Diplomarbeit ist es für den hydraulischen Schrittmotor

- ausgewählte Grundlagen zu erarbeiten,
- die Eignung einer Membran als leckagefreies Dichtelement zu untersuchen,
- für das wesentlichste Bauelement – die steuerbare Kolben-Kolbenstange-Verbindung – eine Lösung zu finden und
- einen hydraulischen Schaltplan zu erstellen.

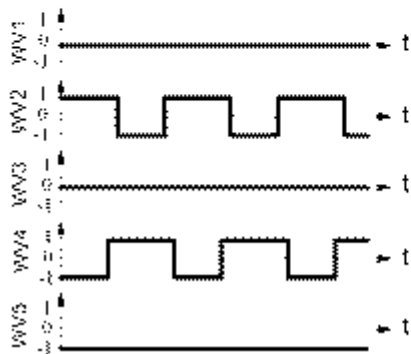
3. Prinzip des hydraulischen Schrittmotors

Auf einer durchgehenden Kolbenstange befinden sich mindestens zwei voneinander unabhängig wirkende Kolben in einem massiven Zylindergehäuse mit getrennten Kammern. Über eine Kolbenstange und der Lagerung des Zylindergehäuses erfolgt die Kraftübertragung nach außen. Um Biegemomente an der Kolbenstange zu vermeiden, soll das Zylindergehäuse durch beidseitige Lagerzapfen gelagert werden, ähnlich einem Kreuzgelenk. Während ein Kolben den Arbeitshub ausführt, absolviert der andere Kolben den Rückhub. Es werden somit mindestens zwei voneinander unabhängig wirkende oder entsprechend miteinander gekoppelte Kolben benötigt. Jener Kolben, der gerade den Arbeitshub ausführt, muss mit der Kolbenstange eine feste Verbindung bilden, während am anderen Kolben beim Rückhub keine Verbindung, vorliegt. Dieses erfordert eine leicht lösbare Kolben-Kolbenstange-Verbindung, welche sich sehr genau steuern lässt und einen Betrieb in beide Richtungen ermöglicht.

Das Prinzip eines hydraulischen Schrittmotors mit Kolbenklemmung und hydraulischer Kolbenrückstellung und die typischen Schaltverläufe der Wegeventile über der Zeit t sind in Bild 1 dargestellt. Die Schaltstellung 1 bedeutet die linke Position, die Schaltstellung 0 die Mittellage und die Schaltstellung -1 die rechte Schaltposition des jeweiligen Wegeventils.



Typische Schaltverläufe für Bewegung der Kolbenstange nach links



rechts

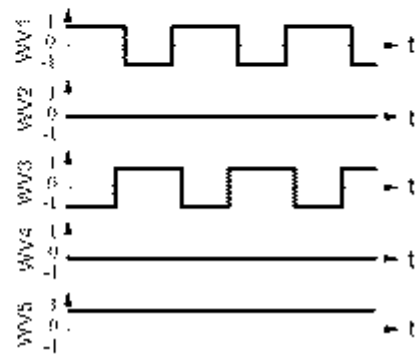


Bild 1: Prinzip eines hydraulischen Schrittmotors mit Kolbenklemmung und hydraulischer Kolbenrückstellung und den typischen Schaltverläufen

4. Ergebnisse

1. Die Membran als Dichtelement

Die wesentlichen Kriterien für die Eignung einer Membran als Dichtelement im hydraulischen Schrittmotor, wie

- die maximalen Vergleichsspannungen
- eine geringe Auslenkkraft und

- ein geringer Steifigkeitsverlust

wurden in Gleichungsform beschrieben. Um für die offenen Parameter der Membrananzahl n , der Membrandicke h und der Differenz der Membranradien DR eine Lösung zu finden, wurde für $R \neq 0$ der Sonderfall des Plattenstreifens bzw. Biegebalkens betrachtet. Ausgehend von dieser Lösung konnte mit Hilfe eines sogenannten Fortsetzungsverfahrens auch eine Lösung für den gewünschten Membranradius gefunden werden. Die zusätzliche Annahme, dass sich zwischen den Membranen eine abgedichtete ideale Druckflüssigkeitsschicht befindet, erleichterte die Lösungssuche.

Mit diesen analytisch errechneten Parametern wurde mit dem Finite-Elemente-Programm ABAQUS der Membranenstapel mit kompressiblen Ölschichten zwischen den Membranen modelliert und Spannungen, Verschiebungen und Drücke in den Fluidkammern berechnet, was zu folgendem überraschenden Ergebnis führte:

Die bisher getroffene Annahme eines näherungsweise linearen Druckverlaufes in den Fluidkammern hat sich nicht bestätigt, sondern als falsch erwiesen. Für eine hohe Membrananzahl – wie sie für den hydraulischen Schrittmotor errechnet wurde – vervielfachen sich die maximalen Spannungen durch die kompressible Ölschicht zwischen den Membranen. Jedoch für eine geringe Anzahl von Membranen sind die Auswirkungen der Ölkompresibilität für sehr geringe Ölschichtdicken klein. Die Maximalspannungen an der drucklastseitigen Membran steigen in einem solchen Fall nur geringfügig an.

Der Einsatz einer Membran als Dichtelement in einem hydraulischen Schrittmotor erscheint nach obiger Berechnung nicht möglich. Werden jedoch an die Membranendichtung keine so hohen Anforderungen des geringen Steifigkeitsverlustes und der geringen Auslenkkraft gestellt, so sinkt die Anzahl der benötigten Membranen beträchtlich ab. Für kleine Hübe wäre in solchen Anwendungsgebieten die Membran als leakagefreies Dichtelement auch für die Hydraulik eine interessante Alternative.

2. Steuerbare Kolben-Kolbenstange-Verbindung

Das wesentlichste Bauelement eines hydraulischen Schrittmotors ist die steuerbare Kolben-Kolbenstange-Verbindung. Glatte Oberflächen der Kolbenstange haben sich auch bei Standardzylindern besonders bewährt. Daher wurde versucht, steuerbare Verbindungen aufbauend auf einer glatten Kolbenstange zu finden. Am geeignetsten für eine doppelwirkende +Kolbenklemmung erscheint das Prinzip mittels Kegelbüchse, dargestellt im Bild 2. Die erforderlichen hohen Klemmkraften werden durch den Arbeitsdruck

und der Kraftverstärkung durch den Kegel erzeugt. Außerdem werden extrem hohe Flächenpressungen durch die relativ lange Kegelbüchse vermieden. Die Steuerung der Klemmung kann selbsttätig durch den Arbeitsdruck erfolgen, sodaß für das Lösen und Klemmen der Kolben keine zusätzlichen Steuerungselemente benötigt werden. Für eine sichere Funktion dürfen jedoch die Reibbeiwerte zwischen Kolben und Kegelbüchse bzw. Kegelbüchse und Kolbenstange nur in einem begrenzten Bereich liegen. Reibbeiwerte lassen sich theoretisch nur ungenau bestimmen, womit man auf aufwendige praktische Versuche angewiesen ist. Außerdem ändern sich diese bei fortlaufendem Betrieb.

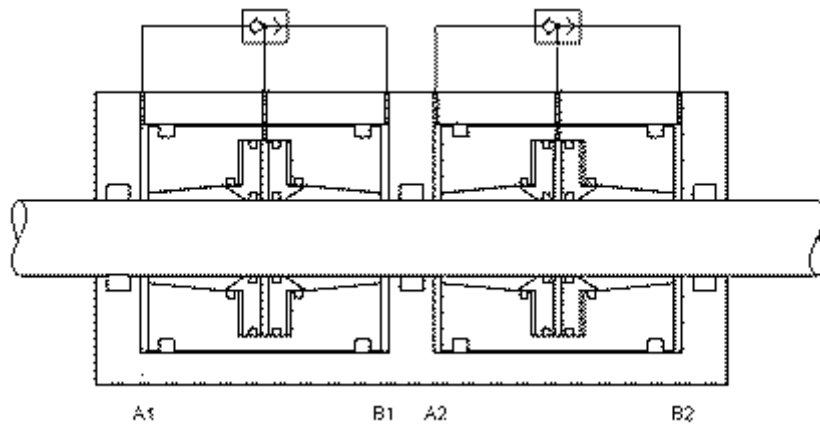


Bild 2: Prinzip einer doppelwirkenden Kolbenklemmung mittels Kegelbüchse