

Klaus G. Wagner
Hydraulische Systeme
Komponenten und mehr



HANCHEN®

**Inhaltsverzeichnis und Kapitel-Auszug aus dem
Buch "Hydraulische Systeme"
von Klaus Wagner**

deutsch	978-3-9821291-0-5
englisch	978-3-9821291-1-2
französisch	978-3-9821291-2-9

Klaus G. Wagner

Hydraulische Systeme

Komponenten und mehr

Dieses Buch wurde von der Firma Herbert Hänchen GmbH & Co. KG erstellt.

Autor:

Dipl.-Ing. Klaus G. Wagner ist Bereichsleiter Forschung und Innovation bei Hänchen.

Lektorat:

Dipl.-Betrw. Sarah Bässler

Satz und Gestaltung:

Klaus G. Wagner und Sarah Bässler

Fotos und Grafiken:

Klaus G. Wagner und Beate Mayer

2. erweiterte Auflage 2019

Dieses Buch ist eine vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe von
Der Hydraulik-Zylinder ... und mehr.

© 2019 Hänchen

Alle Rechte bei Herbert Hänchen GmbH & Co. KG, 73760 Ostfildern

ISBN 978-3-98212910-5

HH2760 / 10-2019 em040223

Dieses Buch soll einen Überblick über die Auslegung hydraulischer Antriebe, zu beachtender EG-Richtlinien und die zugehörigen Normen verschaffen. Es stellt keine vollständige Richtlinie zur Erstellung einer CE-Dokumentation dar. Das Studium der einzelnen Normen und Richtlinien ist unbedingt erforderlich.

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.

Der Hydraulik-Antrieb

„Sagen Sie mir doch, welchen Hydraulik-Antrieb ich brauche. Und welchen Performancelevel Ihr Zylinder hat. Das muss ich für die Maschinenrichtlinie wissen“.

So ähnlich Fragen werden häufig von Maschinenkonstruktoren gestellt.

Bei näherer Betrachtung zeigt es sich, dass es am Markt Unterschiede gibt. Unterschiede in Qualität, Lebensdauer, Leichtgängigkeit, Servicefreundlichkeit und vielem mehr.

Und da stellen Sie sich dann zu Recht die Frage: „Was brauche ich denn nun wirklich? Muss es das Teuerste sein, oder reicht auch was Billigeres? Wie kann ich die Anforderungen erreichen? Was mache ich, wenn es mal schneller oder langsamer als üblich sein soll?“

Der Konstrukteur ist verpflichtet, zusätzlich zur technischen Auslegung eine Risikobeurteilung durchzuführen. Dabei legt er fest, welche Sicherheitsfunktionen zur Minderung des Risikos der Gefährdung von Menschen benötigt werden. Beispiel einer solchen Sicherheitsfunktion ist ein Schutzzaun um eine Presse.

Zur Einschätzung, welche Arten von Schutzmaßnahmen erforderlich sind, muss für die Steuerungsfunktionen ein so genannter Performancelevel ermittelt werden. Aufgrund dieses erforderlichen Performancelevels müssen anschließend die Schutzmaßnahmen ausgewählt werden.

Warum das alles? Weil der Gesetzgeber will, dass Menschen an der von Ihnen konstruierten Maschine gefahrlos arbeiten können.

Und das ist ein gutes Gesetz. Stellen Sie sich vor, Sie haben eine 16-jährige Tochter. Fragen Sie sich bei der Konstruktion stets, ob Sie sie an Ihrer Maschine arbeiten lassen würden.

Deswegen sollten Sie sich auch immer überlegen, ob Sie sich billige Komponenten leisten können, oder ob die etwas teurere vielleicht doch die preisgünstigere ist.

Ostfildern im Januar 2017

Der Hydraulik-Antrieb 4.0

Die Welt geht hin zu Extremen: Alles wird kleiner, wie zum Beispiel in der Elektronik, gleichzeitig wird alles größer, wie zum Beispiel der Bau des Panamakanals für immer größere Schiffe.

Moderne Fahrzeugkomponenten müssen dynamisch geprüft werden, bei immer höheren Frequenzen und mit immer höheren Kräften.

Diese Extreme finden auch in der hydraulischen Antriebstechnik Einzug. Außerdem ist Energieeffizienz heute in aller Munde.

Dies betrifft selbstverständlich auch die Hydraulik. Das soll in dieser zweiten, erweiterten Auflage zum Ausdruck kommen.

Neu aufgenommen wurde insbesondere das energieeffiziente Dichtungssystem Servoseal®. Hierzu und auch für die weiteren Systeme wurden umfangreiche Einsatzempfehlungen beschrieben.

Die Inhalte um die Themen Maschinenrichtlinie und die hydraulische Steuerungstechnik als Sicherheitselement mit Ventilblöcken und Klemmeinheiten wurden stark erweitert.

Der hydraulische Antrieb soll effizienter, dynamischer und sicherer werden.

Dieses Buch soll Ihnen hierzu Anregungen geben, damit Sie Ihren perfekten Hydraulikantrieb verwirklichen können.

Zur zweiten Auflage
Ostfildern im Oktober 2019

Inhalt

Kapitel 1: Das Hydrauliksystem	11
Hydraulische Bausteine	12
Hydraulikflüssigkeit	13
Werkstoffe	14
Physikalische Auslegung	14
Kapitel 2: Der Hydraulikzylinder	15
Einteilung von Hydraulikzylindern	15
Wirkungsart	15
Wirkfläche	16
Baureihen und Betriebsdruck	18
Auf was kommt es an?	21
Zylinderkonstruktion	25
Bauform	26
Kapitel 3: Dichtungselemente für Hydraulikzylinder	28
Berührende statische Dichtungen	29
Berührende dynamische Dichtungen	31
Berührungsfreie Drosselspалtdichtungen	32
Berührungsfreie Ringspалtdichtung	34
Servoseal®	35
Abstreifer	36
Basis-Dichtungswerkstoffe	37
Kapitel 4: Ausstattung des Hydraulikzylinders	39
Verschluss- und Kolbenvariante	39
Einsatzgrenzen	39
Dichtungssystem Verschluss	41
Führungssystem Verschluss	43
Vergleich Dichtungs- und Führungssysteme Verschluss	47
Dichtungssystem Kolben	47
Führungssystem Kolben	49
Vergleich Dichtungssysteme Kolben	50
Dichtungswerkstoff	50
Kolbenstangengüte	52
Kapitel 5: Einsatzempfehlungen für Hydraulikzylinder	54
Einsatzempfehlung Temperatur	54
Einsatzempfehlung Baureihe	54
Einsatzempfehlung Dynamik	56

Einsatzempfehlung Geschwindigkeit	57
Einsatzempfehlung Hub und Amplitude	58
Kapitel 6: Auslegung von Hydraulikzylindern	60
Standard-Berechnung	60
Antriebsleistung	60
Beschleunigte Bewegung	61
Sinusbewegung	64
Zylinder mit Stetigventil	65
Eigenfrequenz	69
Querkräfte auf die Kolbenstange	73
Ölgeschwindigkeiten	75
Knickung	76
Endlagendämpfung	77
Kapitel 7: Energieeffizienz	79
Energieeffizienz durch Auswahl der Zylindergröße	79
Energieeffizienz durch Einsatz von Speichern	80
Reibung von Zylindern	80
Energieeffizienz durch die Wahl des Dichtungssystems	83
Energieeffizienz durch Klemmen	84
Energieeffizienz durch die Wahl des Werkstoffes	86
Kapitel 8: Betrieb von Hydraulikzylindern	88
Einbau und Inbetriebnahme	88
Reinheit des Mediums	88
Spülen der Anlage	90
Entlüften	91
Kapitel 9: Werkstoffe	92
Stahl-Werkstoffe	92
Metallische Leichtbauwerkstoffe	93
Faserverbundwerkstoffe	93
Kapitel 10: Medien	95
Normen für Hydraulikmedien	95
Mineralöle	96
Additive	96
Hydrauliköle auf Mineralölbasis	98
Umweltschonende Schmieröle	98
Schwer entflammbare Hydraulik-Flüssigkeiten	101
Sonstige Hydraulikflüssigkeiten	101

Kapitel 11: Sensoren	102
Nahrungsschalter	102
Wegmesssysteme	102
Induktive Wegmesssysteme	104
Magnetostriktive Wegmesssysteme	105
Kraftaufnehmer	105
Mechatronik	106
Kapitel 12: Kolbenstangen klemmen	107
Klemmeinheit Ratio-Clamp®	107
Ausstattung Ratio-Clamp®	108
Kapitel 13: Sicherheit durch EG-Richtlinien	111
Inverkehrbringen	111
Geltungsbereich	111
Maschinenrichtlinie	111
Druckgeraterichtlinie	112
EMV-Richtlinie	113
Niederspannungsrichtlinie	113
ATEX-Richtlinie	113
REACH-Verordnung	114
Arbeitsschutzrahmenrichtlinie	114
Kapitel 14: Gesetze und Normen	115
Nationales Recht	115
Normen	115
Kapitel 15: Anwendung der Maschinenrichtlinie	119
Konformitatsbewertungsverfahren	119
Beispiele Maschinenrichtlinie in der Hydraulik	122
Risikominderung	125
Sicherheit der Steuerung	126
Sicherheit am Zylinder	131
Lasten absichern	132
Probetrieb	136
Retrofit – aus alt mach neu	137
Kapitel 16: Sicherheit durch hydraulische Steuerungstechnik	138
Hydraulikblocke	138
Zwischenplatten	140
Verteilerblocke	140
Typische Funktionen	141

Kapitel 17: Anwendungsgerechte Konstruktion	146
Befestigung mit Gelenklagern	146
Befestigung mit Biegestab	149
Kraftübertragungsstangen	149
Einbau-Zylinder	150
Verdrehgesicherte Kolbenstange	150
Leichtbau-Hydraulikzylinder	152
Druckwandler	152
Leitungsrohre	154
Kapitel 18: Abnahmen und Prüfungen	155
Zylinder-Abnahmeprüfung	155
CE-Kennzeichnung	155
GS-Zeichen	155
Weitere Produkt-Prüfungen	155
Kapitel 19: Trivia et Varia	157
Inhalt EG-Konformitätserklärung und Einbauerklärung	157
Begriffe zur Maschinenrichtlinie	159
Einheiten und Umrechnung	160
Normen für Hydraulikzylinder	161
Kapitel 20: Weiterführende Informationen	162
Normen für Hydraulikzylinder	162
Normen zur Sicherheitstechnik	165
Normen zur hydraulischen Anschlusstechnik	167
EG-Richtlinien	168
Literatur	169
Index	170

Kapitel 1: Das Hydrauliksystem

Bei der Auslegung eines Hydrauliksystems muss der Konstrukteur zahlreiche Aspekte berücksichtigen.

Hierzu zählt zunächst die physikalische und technische Auslegung des Antriebes, bei der Kräfte, Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen berechnet werden.

Abhängig vom Einsatzzweck und der Anwendung des Antriebes sind die Komponenten und deren Ausführungen festzulegen.

Darüber hinaus muss der Konstrukteur Dichtungssysteme auslegen, um Leckagen, Energiebilanzen und Verlustleistungen zu optimieren.

Mit der Auswahl der geeigneten Hydraulikflüssigkeit lässt sich die Langlebigkeit des Systems beeinflussen.

Neben diesen technischen Aspekten hat der Konstrukteur auch die rechtlichen Belange zu betrachten. Hierzu zählen zum Beispiel die Anforderungen aus dem Produktsicherheitsgesetz.

Somit muss der Konstrukteur auch die einschlägigen Normen und Richtlinien kennen.

Hierzu ein Beispiel: Soll ein Antrieb eine Lasthaltefunktion übernehmen, so sind vom Konstrukteur die rechtlichen Belange in Bezug auf Personengefährdung und Sicherheit zu berücksichtigen und entsprechende Sicherungsmaßnahmen vorzusehen.

Oft sind hierzu redundante Haltesysteme erforderlich, bestehend aus hydraulischen Sperrventilen und Klemmeinheiten.

Dies ist in der Maschinendokumentation darzulegen, so dass der Betreiber alle für ihn interessanten Belange berücksichtigen kann.

Auf technischer Seite muss der Konstrukteur selbstverständlich die Komponenten und Dichtsysteme für die spezielle Anforderung der Lasthaltefunktion wählen, die sowohl im dynamischen Bereich als auch im statischen Zustand möglichst wenig Leckage erzeugen.

Auslegung Hydrauliksystem		
Physikalische Auslegung	Auswahl Komponenten	Rechtliche Belange
Kräfte	Hydraulisches Antriebssystem	EG-Richtlinien
Geschwindigkeiten	Hydraulikflüssigkeit	Gesetze
Beschleunigungen	Automatisierung	Normen

Abbildung 1
Beispielkriterien für die Auslegung des Hydrauliksystems

Hydraulische Bausteine

Das hydraulische Antriebssystem einer Maschine besteht in der Regel aus einem Druckversorgungs-Aggregat mit einer Hydropumpe und einem Hydraulikzylinder als Verbraucher, der die von der Pumpe übertragene hydraulische Energie in mechanische Energie umwandelt.

Gesteuert wird der Antrieb mit Steuerelementen, wie zum Beispiel Ventilen.

Abhängig von den Komponenten und deren Einsatz und Einbau sind die sicherheitstechnischen Überlegungen eines Hydraulik-Systems zu gestalten.

Druckversorgungsaggregat

Das Druckversorgungsaggregat ist das Basiselement eines Hydraulik-Systems.

Es besteht aus einem Behälter mit Hydraulikflüssigkeit, aus dem eine Motor-Pumpen-Einheit die Flüssigkeit unter Druck zum Verbraucher fördert.

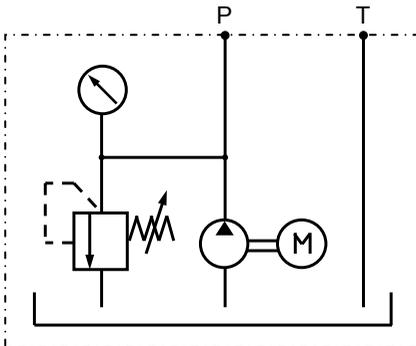


Abbildung 2
Hydraulik-Aggregat

Zur Konditionierung der Flüssigkeit sind meist Filter- und Kühlsysteme integriert, sowie Sicherheitsventile zur Absicherung.

Hydraulischer Verbraucher

Der Hydraulikzylinder ist ein Verbraucher und damit das die Leistung übertragende Element eines Hydraulik-Systems und erzeugt eine Linearbewegung.

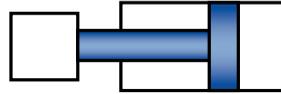


Abbildung 3
Hydraulikzylinder

Dieser erzeugt Zug- und Druckkräfte in Abhängigkeit des hydraulischen Antriebsdruckes und verfährt die Kolbenstange mit einer Geschwindigkeit in Abhängigkeit des Volumenstroms.

Hydraulische Antriebs Elemente für Dreh- oder Schwenkbewegungen sind zum Beispiel Hydraulikmotoren.

Der konstruktive Aufbau und Qualitätsmerkmale von Hydraulikzylindern sind in Kapitel 2: Der Hydraulikzylinder ausführlich beschrieben.

Ventiltechnik

Ventile sind steuerungstechnische Elemente, durch sie werden die Verbraucher gesteuert. Zum Beispiel geben Wegeventile vor, in welche Richtung der Zylinder verfährt.

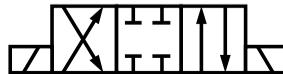


Abbildung 4
Hydraulik-Wegeventil

Druckventile, wie zum Beispiel Druckbegrenzungsventile, regeln den Druck. Stromventile steuern den Volumenstrom. Sperrventile sperren Leitungen ab und

sichern so das System zum Beispiel gegen Absinken ab.

Beispiele zu Ventilsteuerungen und Ventilblöcken finden sich im Kapitel 15: Anwendung der Maschinenrichtlinie.

Sensorik

Mess-Elemente wie Sensoren messen physikalische Größen, um ein Hydraulik-System zu beobachten oder in einem Regelkreis Daten zurückzuführen.

Neben der Position der Kolbenstange werden zum Beispiel Kräfte, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Drücke oder Temperaturen gemessen.

Informationen zu Sensoren rund um den Hydraulikzylinder sind Kapitel 11: Sensoren zu entnehmen.

Speichertechnik

Ein Hydraulikspeicher speichert eine Flüssigkeit unter Druck. Hierzu komprimiert der Flüssigkeitsdruck ein Gas, das sich bei Flüssigkeitsentnahme ausdehnt.

Beim Entladen wird hydraulische Energie abgegeben.

Durch Hydraulikspeicher kann in Hydraulik-Systemen sehr einfach Energie gespeichert werden.

Der Einsatz von Speichern und weitere Maßnahmen zur Steigerung des Wirkungsgrades von hydraulischen Antrieben werden in Kapitel 7: Energieeffizienz gezeigt.

Leitungsbau

Der Begriff Leitungsbau bezeichnet die Verrohrung vom Aggregat zu den Verbrauchern. Hierzu werden Hydraulikrohre oder Schläuche verwendet.

Automatisierung

Durch Automatisierung mit Elektronikkomponenten und Software kann ein Hydraulik-System komplexe Abläufe abbilden.

Des Weiteren können damit sichere Steuerungen realisiert werden.

Die Anwendung der einschlägigen Gesetze und Normen, sowie die Anforderungen an die Steuerung durch Ermittlung des Performance-Levels wird in Kapitel 13: Sicherheit durch EG-Richtlinien und Kapitel 14: Gesetze und Normen beschrieben.

Kapitel 15: Anwendung der Maschinenrichtlinie behandelt die Umsetzung der Erfordernisse in Bezug auf die Maschinenrichtlinie.

Hydraulikflüssigkeit

Hydraulikantriebe werden je nach Einsatzfall mit geeigneten Medien betrieben. Bei der Auswahl des Mediums sind die Anforderungen der Anwendung, wie zum Beispiel der Temperatureinsatzbereich, die Schwerentflammbarkeit in Gießereien oder Stahlwerken oder die schnelle biologische Abbaubarkeit zu berücksichtigen.

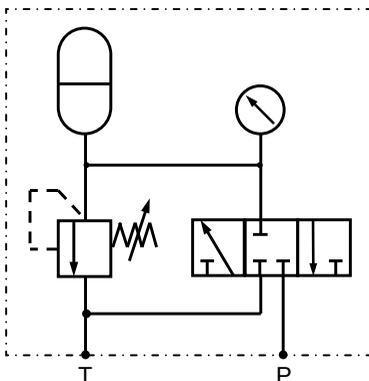


Abbildung 5
Hydraulik-Speicher mit Sicherheitsblock

Ausführliche Hinweise sind Kapitel 10: Medien beschrieben.

Werkstoffe

Die Auswahl des geeigneten Werkstoffes der Komponenten ist ein wesentliches Kriterium für die Zuverlässigkeit des Antriebes. Je nach Einsatzfall kommen hier verschiedenste Stahl-Arten, Leichtbauwerkstoffe oder Composites zum Einsatz.

Ausführliche Informationen werden in Kapitel 9: Werkstoffe dargelegt.

Physikalische Auslegung

Die rechnerische Auslegung eines Hydraulikzylinders erfolgt nach der Kraft und der Kolbengeschwindigkeit.

Hierbei sind die jeweiligen Flächen, der am Zylinder anstehende Hydraulikdruck und der zur Verfügung stehende Volumenstrom entscheidend. Dabei sind die zulässigen Werte für den Betriebsdruck in Abhängigkeit der Druckreihe sowie die zulässige Ölgeschwindigkeit in den Hydraulikanschlüssen zu berücksichtigen.

Formeln zur Berechnung der Leistungsdaten für unterschiedliche Bewegungen sind in Kapitel 6: Auslegung von Hydraulikzylindern beschrieben.

Kapitel 2: Der Hydraulikzylinder

Der Hydraulikzylinder ist ein Gerät, das die Druckenergie eines Mediums, zum Beispiel Hydrauliköl, in eine geradlinige Antriebsbewegung umsetzt.

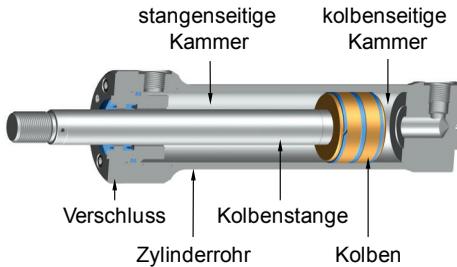


Abbildung 6
Bestandteile des Hydraulikzylinders

Beim Kolbenzylinder, also dem Hydraulikzylinder, über den wir hier sprechen, entsteht die mechanische Kraft durch Einwirkung des Druckes des Übertragungsmediums auf die Kolbenfläche. Er ist somit ein hydraulischer Linearmotor.

Ein Hydraulikzylinder besteht aus einem Zylinderrohr, in dem sich eine Kolbenstange mit Kolben hin und her bewegt.

Die Enden des Zylinderrohres sind mit Verschluss genannten Deckeln verschlossen.

Der Kolben teilt das Innere des Zylinders in zwei Kammern: Die kolbenstangenseitige und die kolbenseitige Kammer. Der Hydraulikdruck wirkt auf den Kolben und bewegt somit die Kolbenstange.

Einteilung von Hydraulikzylindern

Hydraulikzylinder werden grundsätzlich nach zwei verschiedenen Arten unterschieden: Der Wirkungsart und der Bauform.

Wirkungsart

Die Wirkungsart wird unterschieden zwischen doppeltwirkenden Zylindern und einfach wirkenden Zylindern sowie in der Druckbeaufschlagung der Wirkfläche.

Bei einfachwirkenden Zylindern wird durch Druck auf einer Wirkseite ein- (oder aus-) gefahren, der jeweilige Rückhub erfolgt durch eine externe Kraft, wie zum Beispiel das Eigengewicht oder eine Feder.

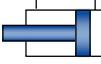
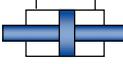
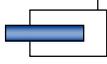
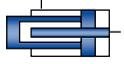
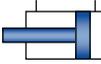
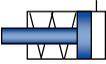
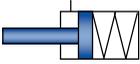
Wirkungsart				
Wirkfläche	 Differential- zylinder	 Gleichlauf- zylinder	 Plunger- zylinder	 Synchron- zylinder
Wirkkraft	 doppeltwirkend	 einfachwirkend Druck	 einfachwirkend Zug	

Abbildung 7
Einteilung Hydraulikzylinder

Ein Beispiel für den Einsatz einfachwirkender Hydraulikzylinder ist eine Hebebühne, auf der eine Last mit Druck nach oben bewegt wird und die Einfahrbewegung durch das Eigengewicht der Last erfolgt.

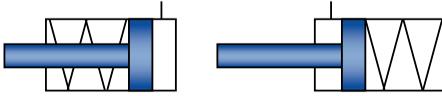


Abbildung 8
links: einfachwirkender Zylinder auf Druck
rechts: einfachwirkender Zylinder auf Zug

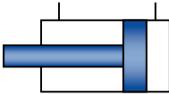


Abbildung 9
doppeltwirkender Zylinder

Bei doppeltwirkenden Zylindern wird durch Druck auf der einen Wirkseite die Kolbenstange ausgefahren und durch Druck auf der anderen Wirkseite wieder eingefahren. Meist werden doppeltwirkende Zylinder eingesetzt.

Wirkfläche

Für die physikalische Auslegung eines Hydraulikzylinders entscheidend ist die Wirkfläche. Dies ist die Fläche, auf die der Hydraulikdruck wirkt und so die Kraft des Zylinders erzeugt.

Differentialzylinder

Differentialzylinder sind Zylinder mit einseitiger Kolbenstange und haben somit eine große Kolbenfläche zum Ausfahren und eine um die Stangenfläche reduzierte Fläche zum Einfahren.

Die Bezeichnung Differentialzylinder ist genau genommen nur dann richtig, wenn das Verhältnis der Wirkflächen 2:1 beträgt. Da dies aber häufig nicht der Fall ist, ist

die Bezeichnung Zylinder mit einseitiger Kolbenstange zutreffender.

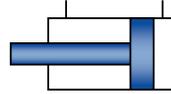


Abbildung 10
Differentialzylinder

Differentialschaltung

Die Beaufschlagung beider Anschlüsse eines Zylinders mit einseitiger Kolbenstange bewirkt durch die Flächendifferenz eine Ausfahrbewegung. Die wirksame Arbeitsfläche beim Ausfahren A_{aus} berechnet sich mit der Kolbenfläche A_1 und der Ringfläche A_2 zu

$$A_{aus} = A_1 - A_2 \quad (1)$$

Zylinder mit durchgehender Kolbenstange, also mit gleicher Wirkfläche, können nicht in Differentialschaltung betrieben werden.

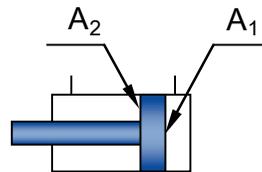


Abbildung 11
Wirkflächen im Hydraulikzylinder

Bei der so genannten Differentialschaltung wird der Rücklaufstrom aus dem stangenseitigen Anschluss in den Anschluss der Kolbenseite geleitet.

Beim Einfahren des Zylinders entspricht die wirksame Arbeitsfläche A_{ein} der Ringfläche A_2

$$A_{ein} = A_2 \quad (2)$$

Dadurch reduziert sich die Druckkraft beim Ausfahren entsprechend dem Verhältnis

Ringfläche zu Kolbenfläche, die Ausfahr-
geschwindigkeit wird entsprechend erhöht.

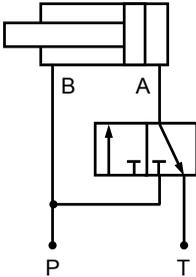


Abbildung 12
Hydraulikzylinder in Differentialschaltung

Bei echten Differentialzylindern, also Zy-
linder mit dem Flächenverhältnis $\phi = 2$,
sind in Differentialschaltung die Wirkflä-
chen gleich groß:

$$A_{ein} = A_{aus} \quad (3)$$

Das heißt, in Differentialschaltung verfährt
der Zylinder bei gleichem Volumenstrom
mit der gleichen Ein- und Ausfahrge-
schwindigkeit, auch die Druckkraft und die
Zugkraft sind identisch.

Gleichlaufzylinder

Im Gegensatz dazu haben Zylinder mit
durchgehender Kolbenstange, auch
Gleichlauf- oder Gleichgang-Zylinder ge-
nannt, zwei gleich große Wirkflächen zum
Aus- und Einfahren.

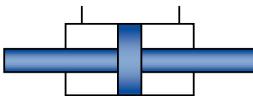


Abbildung 13
Gleichlaufzylinder

Insbesondere beim Einsatz symmetrischer
Regelventile können mit gleich großen
Wirkflächen sehr dynamische Bewegun-
gen realisiert werden.

Aufgrund der durchgehenden Stange ist
die Baulänge solcher Zylinder in etwa
doppelt so groß wie bei Zylinder mit einsei-
tiger Kolbenstange.

Plungerzylinder

Plungerzylinder sind Zylinder ohne Kolben,
mit nur einer Wirkfläche, und sind somit
immer einfachwirkende Zylinder.

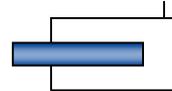


Abbildung 14
Plungerzylinder

Die Kolbenstange eines Plungerzylinders
ist im eigentlichen Sinne eine glatte Stan-
ge ohne Kolben. Sie liegt im Zylinder aus-
schließlich in der Führung im Verschluss
auf und kann sich nicht im Rohr abstützen.
Dadurch können mit solchen Zylindern nur
sehr geringe Seitenkräfte aufgenommen
werden.

Darüber hinaus ist bei der Konstruktion
solcher Zylinder darauf zu achten, dass
die Kolbenstange einen internen Endan-
schlag hat, damit sie nicht versehentlich
komplett aus dem Zylinder herausfahren
kann. Oder es muss sichergestellt sein,
dass im Betrieb ein externer Endanschlag
vorhanden ist.

Synchronzylinder

Synchronzylinder haben zwei Wirkflächen
zum Aus- und Einfahren, die konstruktiv
gleich groß ausgeführt werden können.
Somit eignen sie sich gut für den Einsatz
mit dynamischen Bewegungen.

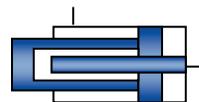


Abbildung 15
Synchronzylinder

Aufgrund ihres konstruktiven Aufbaus entspricht die Baulänge aber näherungsweise der eines Zylinders mit einseitiger Kolbenstange.

Synchronzylinder verfügen über zwei Kolbenstangen, einer großen zur Übertragung der Kraft nach außen und einer kleineren Stange, die in die große, hohl gebohrte Stange ragt.

Kapitel 7: Energieeffizienz

Die Technologie der Hydraulik zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass Energie einfach gespeichert werden kann. Dadurch können hydraulische Antriebe sehr energieeffizient ausgelegt werden.

Aber auch in den Komponenten liegt Potential zur Steigerung der Energieeffizienz.

Durch die Wahl des geeigneten, reibungsarmen Dichtungssystems oder durch die Wahl des geeigneten Werkstoffes kann ein Antrieb mit einem besseren Wirkungsgrad gestaltet werden.

Energieeffizienz durch Auswahl der Zylindergröße

Die Auswahl der Zylindergröße erfolgt durch Berechnung der Kräfte und Geschwindigkeiten in Abhängigkeit des Druckes und Durchflusses.

Aber auch externe Einflüsse wie zum Beispiel Querkräfte oder Knickung haben Einfluss auf die Zylindergröße, insbesondere auf den Durchmesser der Kolbenstange.

Um einen Zylinder energieeffizient auszuwählen, sind folgende Zusammenhänge zu beachten und zu prüfen:

Der Druck sollte so hoch wie möglich gewählt werden. Dadurch wird der Vorteil der Energiedichte besser ausgenutzt. Durch höhere Drücke ergeben sich kleinere Wirkflächen und damit kleinere Durchflüsse. Komponenten wie Ventile oder Leitungen können kleiner gewählt werden und somit energieeffizienter arbeiten.

Die Wirkflächen der Zylinder bestimmen die Kraft und den Durchfluss des Zylinders. Eine Optimierung der Wirkfläche hin zur maximal benötigten Kraft als Ober-

grenze ist dahingehend energieeffizient, dass kleinere Flächen auch kleinere Volumenströme benötigen, so dass die Leistung optimiert wird. Dies kann zum Beispiel durch eine Millimetergenaue Auslegung des Kolbens bei Zylindern der Reihe 320 realisiert werden.

Wie in folgendem Diagramm als Beispiel dargestellt, kann für eine gewünschte Nennkraft von 10 kN ein Zylinder mit Kolbenstangendurchmesser 40 mm und der Standard-Kolbenabmessung 60 mm verwendet werden. Um mit diesem Zylinder die Geschwindigkeit von 1 m/s zu erreichen ist ein Durchfluss von circa 94 l/min erforderlich, die hydraulische Leistung berechnet sich zu 33 kW.

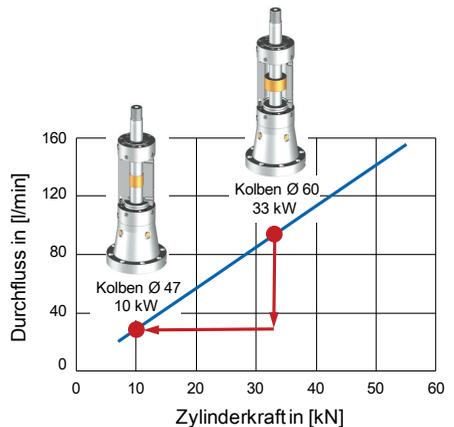


Abbildung 127
Zylinderkraft und Volumenstrom
Beispiel für Kolbenstangen $\varnothing 40$ mm,
Geschwindigkeit $v = 1$ m/s

Allerdings ist diese Standardgröße für die geforderte Kraft zu groß. Eine Optimierung hin zur Kraft von 10 kN ergibt einen Kolbendurchmesser von 47 mm. So erzeugt der Zylinder genau die erforderliche Kraft von 10 kN bei 210 bar.

Mit dieser verkleinerten Wirkfläche reduziert sich der Volumenstrom auf 29 l/min und die hydraulische Leistung auf 10 kW.

Neben dieser Energieeinsparung können dadurch kleinere Komponenten wie zum Beispiel Ventile der Nenngröße 40 l/min statt 100 l/min verwendet werden.

Aber auch durch die Auswahl der Wirkungsart des Zylinders kann der Antrieb mit Standardabmessungen energieeffizient ausgelegt werden.

Wird nur eine definierte Druckkraft benötigt, kann mit einem Differentialzylinder gearbeitet werden. Die nicht relevante Zugkraft ist dann entsprechend dem Flächenverhältnis kleiner.

Wenn aber eine definierte Zugkraft erforderlich ist, ist der Einsatz eines Gleichlaufzylinders mit durchgehender Kolbenstange energieeffizienter, da dann beim Rückhub nicht der große Volumenstrom der großen Zylinderfläche aufgebracht werden muss.

Und auch wenn symmetrische Kräfte aufgebracht werden müssen empfiehlt sich aus energetischer Sicht ein Gleichlaufzylinder.

Energieeffizienz durch Einsatz von Speichern

Mit Hilfe von Hydraulikspeichern kann eine Hydraulikflüssigkeit unter Druck in einen mit Gas gefüllten Druckbehälter gepresst werden. Die Hydraulikflüssigkeit komprimiert das Gas und steht unbegrenzt als gespeicherte Energie zur Verfügung.

Durch den Einsatz von Speichern ist somit eine Steigerung des Wirkungsgrades von hydraulischen Antrieben möglich, indem zum Beispiel das Hydraulikaggregat nur für einen Durchschnittsbedarf ausgelegt wird,

Spitzenleistungen aber aus einem Speichersystem entnimmt.

Der Speicher wird danach in einem Zeitraum aufgeladen, in dem weniger Energie verbraucht wird.

Einzelne Speicher werden zu Speicherbatterien zusammengeschaltet, um eine sehr große Energiemenge zu speichern. So sind viele hundert Liter Speichervolumen erreichbar.

Diese gespeicherte Energie steht auch im Notbetrieb zur Verfügung, wenn keine Antriebsenergie mehr verfügbar ist.

Reibung von Zylindern

Die Reibkraft an Hydraulikzylindern ist ein Kriterium zur Beurteilung der Leichtgängigkeit.

Insbesondere im servodynamischen Einsatz sind stick-slip-arme und leichtgängige Hydraulikzylinder erforderlich.

Je nach Bewegungsart, abhängig von Geschwindigkeit, Temperatur und Druck im Zylinder zeigt der Hydraulikzylinder ein unterschiedliches Reibverhalten. Diese Faktoren sind bei der Beurteilung des Zylinders stets zu berücksichtigen.

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ist allgemein das Verhältnis von abgegebener Leistung zu zugeführter Leistung. Beim Hydraulikzylinder ist der Wirkungsgrad das Produkt aus mechanischem und hydraulischem Wirkungsgrad.

Die Reibung des Hydraulikzylinders ist verantwortlich für den mechanischen Wirkungsgrad η_M des Zylinders.

Dieser ist als Verlust bei der Auslegung des Zylinders auf Kraft und Druck zu be-

rücksichtigen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Reibungsverlust des Hydraulikzylinders maßgeblich von der Größe und Beschaffenheit der Kolbenstange abhängt. Der Kolben selbst trägt zur Reibkraft wenig bei.

Leckagen innerhalb des Zylinders oder nach außen hin sind verantwortlich für den hydraulischen Wirkungsgrad η_H . Dieser ist als Verlust bei der Auslegung des Zylinders auf Geschwindigkeit und Durchfluss zu berücksichtigen.

Der Gesamtwirkungsgrad η ist bei der Bestimmung der hydraulischen Leistung zu berücksichtigen.

$$\eta = \eta_M \cdot \eta_H \quad (54)$$

Mechanischer Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad wird wie bereits beschrieben als Gesamtwirkungsgrad aus mechanischem und hydraulischem Wirkungsgrad bestimmt. Leckagen gehen direkt in den hydraulischen Wirkungsgrad ein, Reibung geht in den mechanischen Wirkungsgrad ein.

Die Berechnung des mechanischen Wirkungsgrades erfolgt immer in Bezug auf die Zylinderkraft F_Z , das heißt die Differenz aus Zylinderkraft und Reibkraft F_R wird zur Zylinderkraft ins Verhältnis gesetzt.

$$\eta_M = \frac{F_Z - F_R}{F_Z} \quad (55)$$

Damit ist der mechanische Wirkungsgrad stets direkt von der Zylinderkraft und damit von der Wirkfläche abhängig.

Die Reibkraft selbst ist dagegen, insbesondere bei sehr leichtgängigen Gleichlaufzylindern mit Drosselspaltkolben, fast ausschließlich vom Kolbenstangendurchmesser mit den Dichtungen im Verschluss

abhängig. Dies macht die Beurteilung des Zylinders durch den Wirkungsgrad schwierig.

Ein Beispiel soll dies im Folgenden verdeutlichen:

Ein Zylinder mit definierter Ausstattung und Ausführung hat einen Kolbendurchmesser D_k von 70 mm und einen Kolbenstangendurchmesser d_s von 40 mm. Die gemessene Reibkraft F_R des Zylinders bei bestimmten Bedingungen beträgt 250 N. Die Zylinderkraft berechnet sich bei einem Druck p von 210 bar zu

$$\begin{aligned} F_Z &= \frac{\pi}{4} \cdot (D_k^2 - d_s^2) \cdot p \\ &= 54,4 \text{ kN} \end{aligned} \quad (56)$$

Und der Wirkungsgrad damit zu

$$\eta_M = \frac{F_Z - F_R}{F_Z} = 99,5 \% \quad (57)$$

Dieser hohe Wirkungsgrad ist natürlich erfreulich. Aber er zeigt nicht unbedingt die Güte des Zylinders.

Die erneute Betrachtung des gleichen Zylinders mit gleicher Ausstattung und bei gleicher Beschaffenheit und gleicher Kolbenstange, jedoch mit einem kleineren Kolbendurchmesser D_k von 45 mm reduziert die Wirkfläche und damit auch die entsprechend berechnete Zylinderkraft

$$\begin{aligned} F_Z &= \frac{\pi}{4} \cdot (D_k^2 - d_s^2) \cdot p \\ &= 7 \text{ kN} \end{aligned} \quad (58)$$

Somit reduziert sich der Wirkungsgrad zu

$$\eta_M = \frac{F_Z - F_R}{F_Z} = 96,4 \% \quad (59)$$

Dieses Beispiel zeigt, dass der Wirkungsgrad kein Maß für die Güte des Hydraulikzylinders ist.

Vielmehr ist bei der Beurteilung die Reibkraft zu beachten. Und dabei ist nicht die Reibkraft als absolute Größe entscheidend, sondern vielmehr die Unabhängigkeit des Reibkraftverlaufs über dem Hub, die Unabhängigkeit vom Druck, sowie die Differenz von Haft- zu Gleitreibung.

Haft- und Gleitreibung

Die Reibkraft an Hydraulikzylindern wird nach VDMA 24577 über Differenzdruckmessung im elektrohydraulischen Regelkreis bestimmt. Hierzu wird die Kolbenstange des Hydrozylinders mit entsprechendem Stetigventil und Wegmesssystem im Lageregelkreis verfahren.

In beide Zylinderkammern wird ein geeigneter Druckmessaufnehmer eingebaut und die Druckdifferenz ohne Last ermittelt. Diese Druckdifferenz wird über die Wirkflächen in eine Reibkraft umgerechnet.

Abhängig von der Geschwindigkeit werden unterschiedliche Reibwerte ermittelt.

Diese Festkörperreibung, auch Coulombsche Reibung genannt, wird unterteilt in Haftreibung, also Reibung in der Ruhe, sowie Gleitreibung, also Reibung an den Kontaktflächen zwischen Körpern, die sich relativ zueinander bewegen.

Diese treten nicht immer voneinander getrennt auf, sondern können zugleich oder abwechselnd auftreten. Zum Beispiel ist der stick-slip-Effekt im Hydraulikzylinder ein ständig wechselnder Übergang zwischen Haft- und Gleitreibung.

Bei der Auswahl eines stick-slip-armen Zylinders ist also nicht unbedingt ein sehr niedriges Grundreibungsniveau erforderlich, sondern insbesondere ein geringer

Unterschied zwischen Haft- und Gleitreibung.

Reibkraftvergleich

Der Reibkraftvergleich in Abbildung 130 zeigt am Gleichlaufzylinder mit Kolbenstangendurchmesser 40 mm beispielhaft gemessene Reibwerte. Die Werte gelten für einen Verschluss und sind für einen Gleichlaufzylinder zu verdoppeln.

Der Kolbendurchmesser 46 mm ist über Drosselspalt abgedichtet. Die Werte wurden nach VDMA 24577 im Sinusbetrieb bei 50 °C mit HLPD 46 ermittelt.

Wichtig beim Vergleich der verschiedenen Verschlussvarianten sind folgende Eigenschaften:

Die Gleitreibung der Verschlussvarianten Servoslide® und Servocop® mit berührenden Dichtungen sind auf einem sehr geringen Reibungsniveau. Bei beiden Varianten steigt die Reibung mit dem Kammerdruck. Durch den Stufenring aus PTFE bei Servocop® wird die Haftreibung gegenüber Servoslide® noch weiter reduziert.

Je geringer die Differenz zwischen Haft- und Gleitreibung ist, desto weniger neigt der Zylinder zu Stick-Slip-Effekten.

Die berührungsfreien Verschlussvarianten Servofloat® und Servobear® besitzen ein extrem niedriges Reibungsniveau. Haft- und Gleitreibung sind nahezu identisch. Das Reibungsniveau dieser berührungsfreien Verschlussvarianten ist unabhängig vom Kammerdruck und damit auch bei ständig wechselndem Druck konstant.

Der Servoseal® reiht sich in die bekannten Dichtungs- und Führungssysteme im unteren Reibkraftbereich ein. Die Druckabhängigkeit der Reibung bei Servoseal® ist sehr gering.

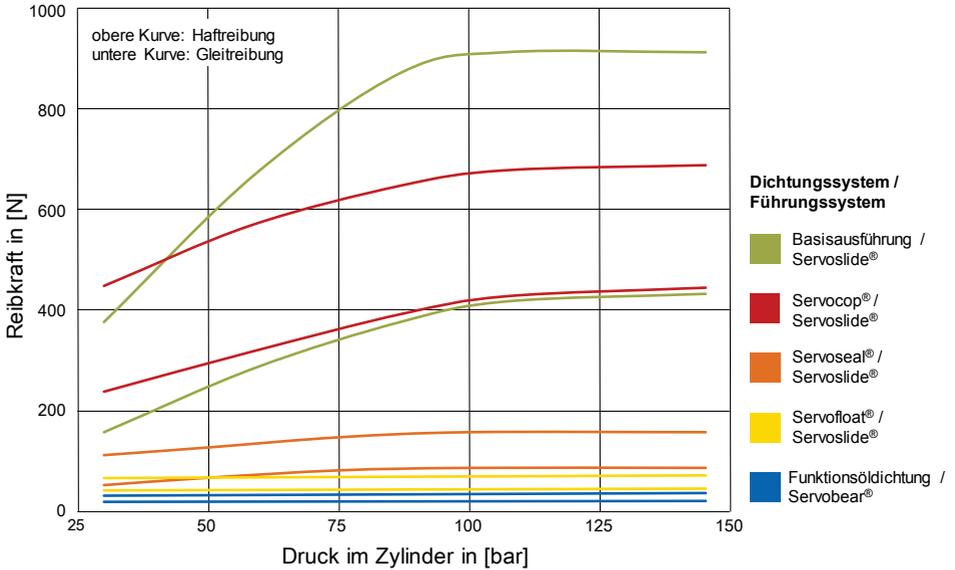


Abbildung 128
Reibkraftvergleich verschiedener Verschlussvarianten

Energieeffizienz durch die Wahl des Dichtungssystems

Jeder Hydraulikzylinder benötigt ein Dichtungssystem, das den Druck im Zylinder nach außen hin abbaut. Dieses Dichtungssystem erzeugt aufgrund von Reibung und Leckage einen Energieverlust.

Der Energieverlust durch die Reibkraft F_R ist abhängig von der Kolbengeschwindigkeit v_k und vom Betriebsdruck p_b in der Kammer. Daraus berechnet sich die Verlustleistung P_{vR} berührender Dichtungssysteme aufgrund von Reibung zu

$$P_{vR} = F_R \cdot v_k \tag{60}$$

Dies ist zum Beispiel bei Zylindern mit dem Dichtungssystem Servocop® zu beachten.

Berührungsfreie Dichtungssysteme, wie zum Beispiel Servofloat®, erfordern einen Funktionsölstrom Q_L , der abhängig von der Kolbengeschwindigkeit v_k und dem Betriebsdruck p_b in der Kammer einen Energieverlust erzeugt.

Diese Leckage ist als zusätzlicher Volumenstrom über das Ventil in den Zylinder zu fördern. Die Verlustleistung P_{vL} berührungsfreier Dichtungssysteme berechnet sich zu

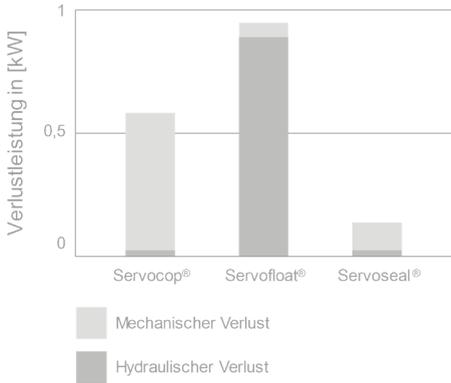
$$P_{vL} = Q_L \cdot p_b \tag{61}$$

und damit die Gesamtverlustleistung P_v zu

$$P_v = P_{v.R} + P_{v.L} \tag{62}$$

So ist zum Beispiel der mechanische Leistungsverlust des Servoseal® in etwa gleich groß wie bei Drosselspaldichtungen, zum

Beispiel Servofloat®. Und der hydraulische Leistungsverlust ist vergleichbar zu konventionellen Dichtungen, wie zum Beispiel Servocop®.



*Abbildung 129
Vergleich Verlustleistung*

Durch Addition der Leistungsverluste ergibt sich eine Gesamtverlustleistung, welche beim Servoseal® sehr gering ist.

Da die Verlustleistung durch Reibung direkt proportional



HÄNCHEN®

Herbert Hänchen GmbH & Co. KG

Brunnwiesenstr. 3, 73760 Ostfildern
Postfach 4140, 73744 Ostfildern
Fon +49 711 44139-0
info@haenchen.de, www.haenchen.de

ISBN 978-3-98212910-5

