

FK 2

# Flugzeugkunde - ATPL/CPL

## FK 2

JAR-FCL-Index: 021 03 00 00

## Hydraulik Muster

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten

**Inhalt:**

Arbeitsanweisung  
Lernziele

<b>1. Grundlagen der Hydromechanik</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeine Übersicht	1
1.1.1 Anwendung der Hydrauliksysteme, Vor- und Nachteile	1
1.1.2 Kraftübertragung durch Flüssigkeiten	2
1.1.3 Gesetz von Pascal	2
1.1.4 Grundformeln der Hydraulik	3
1.1.5 Arbeit in Hydrauliksystemen	4
1.2 Hydraulikflüssigkeiten	6
1.2.1 Allgemeines	6
1.2.2 Mineralische und synthetische Hydrauliköle	7
1.2.3 Charakteristische Eigenschaften der Hydrauliköle	7
1.2.4 Umgang mit Hydraulikflüssigkeiten	9
1.3 Hydraulikanlagen	9
1.3.1 Systemkomponenten	9
1.3.2 Symbolik einer Hydraulikanlage	10
1.3.3 Aufbau verschiedener Hydrauliksysteme	11
1.4 Hydraulikpumpen	13
1.4.1 Handpumpen / Kolbenpumpen	13
1.4.2 Flügelzellenpumpen	14
1.4.3 Zahnradpumpen	14
1.4.4 Axialkolbenpumpen	15
1.4.5 Zylinder	17
1.5 Redundanz und Sicherheit bei Hydraulikanlagen	19
1.5.1 Parallelbetrieb von Hydraulikanlagen	20
1.5.2 Reserveanlagen	21
1.5.3 Leistungsübertragung	22
1.5.4 <i>Ram Air Turbine</i> (RAT)	24
<b>2. Hydrauliksysteme</b>	<b>25</b>
2.1 Gesamtüberblick	25
2.2 Die Bevorratung	26
2.2.1 Der Tank ( <i>Reservoir</i> )	26
2.2.2 Die Füllstation	27
2.2.3 Überwachung und Anzeige	28
2.2.4 Absperrmöglichkeiten	29

2.3 Die Druckerzeugung	29
2.3.1 Die Hydraulikpumpe	29
2.3.2 Motoren	32
2.3.3 Die Motor-Pumpen-Kombination	32
2.3.4 Antriebsarten	33
2.3.5 Überwachung	34
2.3.5.1 Filter	35
2.3.5.2 <i>Check Valve</i> und <i>Pressure Relief Valve</i>	38
2.3.6 Abschaltmöglichkeiten	39
2.3.7 Rücklaufleitungen	41
2.4 Arbeitsanlagen	42
2.4.1 Ventile	42
2.4.1.1 Umschaltventil ( <i>Shuttle Valve</i> )	43
2.4.1.2 Durchflussregler ( <i>Flow Control Valve</i> )	44
2.4.1.3 Druckregler ( <i>Pressure Regulator</i> )	45
2.4.1.4 Druckminderer ( <i>Debooster</i> )	46
2.4.2 Steuerorgane ( <i>Flight Controls</i> )	48
2.4.2.1 Allgemein	48
2.4.2.2 Seitenruder	48
2.4.2.3 Höhenruder und Autopilot	50
2.4.2.4 Landeklappen	54
2.4.2.5 Hydraulische Propellerverstellung	56
2.4.2.6 Druckakkumulatoren	60
Selbstkontrollaufgaben + Fundstellen	
Lösungen zu den Selbstkontrollaufgaben	
Testaufgaben + Fundstellen	
Testlösungsblatt	

**Arbeitsanweisungen:**

Dieser Lehrbrief soll Sie mit den Gesetzmäßigkeiten der Hydromechanik und den wichtigsten hydraulischen Systemen im Flugzeug vertraut machen. Prägen Sie sich besonders die Hauptbestandteile einer Hydraulikanlage ein, und die Flugzeugsysteme, die hydraulisch betrieben werden.

Bitte lesen Sie den Lehrbrief erst einmal ganz durch, um einen Überblick über die behandelte Thematik zu gewinnen. Arbeiten Sie dann den Text abschnittsweise durch. Anschließend bearbeiten Sie die Selbstkontrollaufgaben und vergleichen Ihre Antworten mit dem beigefügten Lösungsschlüssel.

Zum Schluss bearbeiten Sie bitte die Testaufgaben und schicken die Testlösungen der FERNSCHULE zur Korrektur ein.

**Achtung:**

Die aktuelle Revisionsnummer eines Lehrbriefs finden Sie immer in der linken oberen Ecke der Kopfzeile des Inhaltsverzeichnisses.

## Lernziele:

<b>021 03 00 00</b>	<b>HYDRAULICS</b>
<b>021 03 01 00</b>	<b>Hydro-mechanics: basic principles</b>
LO	Explain the concept and basic principles of hydro-mechanics including: - Hydrostatic pressure - Pascal's law - The relationship between pressure, force and area - Transmission of power: Multiplication of force, decrease of displacement
<b>021 03 02 00</b>	<b>Hydraulic systems</b>
<b>021 03 02 01</b>	<b>Hydraulic fluids: types, characteristics, limitations</b>
LO	List and explain the desirable properties of a hydraulic fluid: <ul style="list-style-type: none"> <li>- thermal stability</li> <li>- corrosiveness</li> <li>- flashpoint and flammability</li> <li>- volatility</li> <li>- viscosity</li> </ul>
LO	State that hydraulic fluids are irritating for skin and eyes.
LO	List the two different types of hydraulic fluids: <ul style="list-style-type: none"> <li>- synthetic</li> <li>- mineral</li> </ul>
LO	State that different types of hydraulic fluids cannot be mixed.
LO	State that at the pressures being considered hydraulic fluid is considered incompressible.
<b>021 03 02 02</b>	<b>System components: design, operation, degraded modes of operation, indications and warnings</b>
LO	Explain the working principle of a hydraulic system.
LO	Describe the difference in principle of operation between a constant pressure system and a system pressurised only on specific demand (open-centre).
LO	State the differences in principle of operation between a passive hydraulic system (without a pressure pump) and an active hydraulic system (with a pressure pump).
LO	List the main advantages and disadvantages of system actuation by hydraulic or purely mechanical means with respect to: <ul style="list-style-type: none"> <li>- weight</li> <li>- size</li> <li>- force</li> </ul>
LO	List the main users of hydraulic systems.
LO	State that hydraulic systems can be classified as either high pressure (typically 3000 psi or higher) and low pressure (typically up to 2000 psi).
LO	State that the normal hydraulic pressure of most large transport aircraft is 3000 psi.
LO	Explain the working principle of a low pressure (0-2000 psi) open centred system using an off loading valve and an RPM dependent pump.
LO	Explain the advantages and disadvantages of a high pressure system over a low pressure system.
LO	Describe the working principle and functions of pressure pumps including: <ul style="list-style-type: none"> <li>- constant pressure pump (swashplate or camplate)</li> <li>- pressure pump whose output is dependent on pump RPM (gear type)</li> </ul>

LO	State that for an aeroplane, the power sources of a hydraulic pressure pump can be: <ul style="list-style-type: none"> <li>- manual</li> <li>- engine gearbox</li> <li>- electrical</li> <li>- air (pneumatic and Ram Air Turbine)</li> <li>- hydraulic (Power Transfer Unit) or reversible motor pumps</li> </ul>
LO	Describe the working principle and functions of the following hydraulic system components: <ul style="list-style-type: none"> <li>- reservoir (pressurised and unpressurised)</li> <li>- accumulators</li> <li>- case drain lines and fluid cooler</li> <li>- return lines</li> <li>- piston actuators (single and double acting)</li> <li>- hydraulic motors</li> <li>- filters</li> <li>- non-return (check) valves</li> <li>- relief valves</li> <li>- restrictor valves</li> <li>- selector valves (linear and basic rotary selectors, two and four ports)</li> <li>- by-pass valves</li> <li>- shuttle valves</li> <li>- fire shut-off valves</li> <li>- priority valves</li> <li>- fuse valves</li> <li>- pressure and return pipes</li> </ul>
LO	Explain why many transport aeroplanes have "demand" hydraulic pumps.
LO	Explain how redundancy is obtained by giving examples.
LO	Interpret the hydraulic system schematic appended to these LOs (to be introduced at a latter date).
LO	Explain the implication of a high system demand.
LO	Explain the implication of a system internal leakage including hydraulic lock of piston actuators.
LO	List and describe the instruments and alerts for monitoring a hydraulic system.
LO	State the indications and explain the implications of the following malfunctions: <ul style="list-style-type: none"> <li>- system leak or low level</li> <li>- low pressure</li> <li>- high temperature</li> </ul>

## 1. Grundlagen der Hydromechanik

### 1.1 Allgemeine Übersicht

#### 1.1.1 Anwendung der Hydrauliksysteme, Vor- und Nachteile

In vielen Bereichen der Flugzeugtechnik müssen große und kleine Leistungen oder schnelle und langsame Lastwechsel vom Cockpit aus über Fernübertragungswege auf die entsprechenden Arbeitseinheiten übertragen werden. Um den damit verbundenen Kraftaufwand für den Piloten möglichst gering zu halten, ist an Bord eine Hydraulikanlage installiert. So werden z.B. folgende Anlagen ganz oder teilweise hydraulisch betätigt:

- Bremsen
- Fahrwerk
- Bugrad-Steuerung
- Klappen
- Seitenruder
- Höhenruder
- Spoiler
- Querruder
- Frachttüren

Da Hydraulikanlagen sehr strenge Sicherheitsanforderungen erfüllen müssen, wenn sie im Cockpit oder in der Passagierkabine verwendet werden sollen, haben Hersteller bisher darauf verzichtet, diese dort einzusetzen.

Hydraulische Anlagen findet man heute bereits bei kleineren zweimotorigen Flugzeugen, wenn auch nur für die Brems- und Fahrwerksanlagen. Da bei größeren Flugzeugen größere Ruderkräfte auftreten, wird auch hier auch in diesem Bereich Hydraulik verwendet. In nach CS 25 bzw. FAR 25 zugelassenen Verkehrsflugzeugen finden sich immer mehrere Hydrauliksysteme, die unabhängig voneinander die Steuer- und Bedienbarkeit des Flugzeugs garantieren. Bei älteren Verkehrsflugzeugen stand hinter der Hydraulik immer noch die Mechanik, d.h. bei totalem Ausfall der Hydraulik konnte auf das Steuern mit Seilen zurückgegriffen werden; diese Möglichkeit fehlt bei modernen Großraumflugzeugen weitgehend. Aus diesem Grund sind sie immer mit mehr als zwei voneinander unabhängigen Systemen ausgerüstet.

Vorteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>geringes Leistungsgewicht</li> <li>leichte Umformbarkeit von Druck und Durchflussmenge in rotierende und lineare Bewegung</li> <li>Schmierung überflüssig, da das Hydrauliköl diese Aufgabe übernimmt</li> <li>guter Wirkungsgrad der Hydraulikanlagen</li> <li>schnelle Änderung der Bewegungsrichtung, da keine großen Massenkräfte auftreten</li> <li>stufenlose Regulierung der Leistung</li> <li>hohe Lebensdauer</li> <li>geringer Wartungsaufwand</li> </ul>
Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Herstellungsgenauigkeit an Regel- und Steuerelementen</li> <li>Dichtungsprobleme der Anlage (abhängig u.a. von Leistung und Wirkungsgrad)</li> <li>hohe Aggressivität der Hydraulikflüssigkeit</li> </ul>

### 1.1.2 Kraftübertragung durch Flüssigkeiten

Flüssigkeiten zeichnen sich dadurch aus, dass sie kaum kompressibel sind. Es lassen sich daher durch ein Leitungssystem Bewegungen auf der **Geberseite** eines Hydrauliksystems (z.B. die Bewegung eines Kolbens in einem Zylinder) ohne weiteres auf einen **Empfänger** übertragen, in dem die gleiche Bewegungsgröße hervorgerufen wird. Voraussetzung für die gleiche Bewegung des Kolbens auf der Empfängerseite ist, dass Kolben und Zylinder auf der Geber- und Empfängerseite gleich groß sind, und damit die gleichen Volumina an Flüssigkeit verschoben werden. Bei diesem Vorgang spielt der im Leitungssystem herrschende Druck eine entscheidende Rolle. Je größer der Druck ist, umso kleiner können die Durchmesser der Arbeitskolben ausfallen, umso weniger Raum benötigt die Anlage, und umso günstiger ist das Verhältnis Leistung/Gewicht (s. Abb. 1).

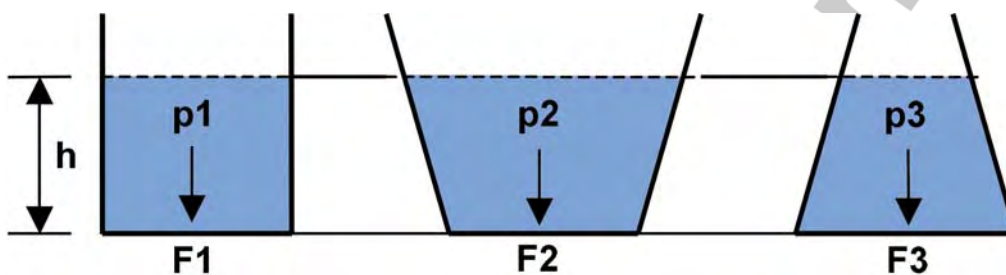


Abb. 1 Durch eine Flüssigkeitssäule ausgeübter Bodendruck

Setzt man gleiche Flüssigkeit und gleiche Flüssigkeitshöhe in allen drei Gefäßen voraus, so ist der am Boden auf einen Quadratcentimeter wirkende Druck bei allen Gefäßen der gleiche. Haben darüber hinaus alle drei Gefäße eine gleich große Bodenfläche, so ist auch die am Boden herrschende Gesamtkraft die Gleiche. Der Druck ergibt sich aus dem spezifischen Gewicht ( $\rho = \text{Rho}$ ), der verwendeten Flüssigkeit und der Füllhöhe. Das Produkt  $\rho \cdot g \cdot h$  ist gleich dem entstehenden Druck mit der Dimension  $\text{N/cm}^2$  ( $\text{N} = \text{NEWTON}$ ) bzw. **bar**.

### 1.1.3 Gesetz von Pascal

Wirkt eine Kraft  $F$  über einer Fläche  $A$  auf eine eingeschlossene Flüssigkeit, so entsteht ein Druck  $p$ , der sich über die gesamte Flüssigkeit gleichmäßig ausbreitet. Abb. 2 zeigt die in einem Zylinder entstehende **Kraft**. Eine Masse  $m$  drückt auf den Kolben eines geschlossenen Gefäßes.

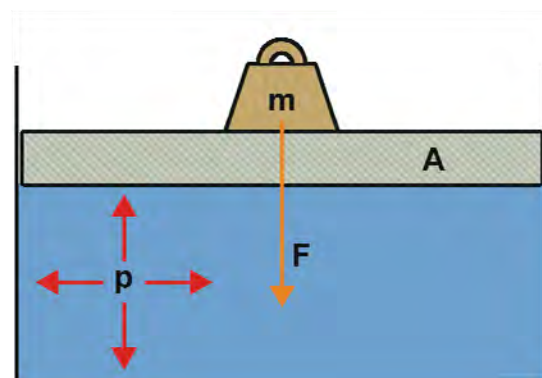


Abb. 2

Entstehende Kraft und ausgeübter Druck

### 1.1.4 Grundformeln der Hydraulik

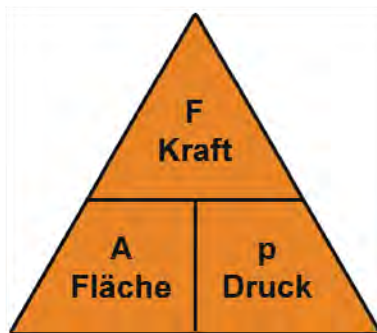
Es ergeben sich folgende Formeln, die das Verhältnis zwischen Kraft, Wirkfläche und Druck beschreiben. Da in der Luftfahrzeugtechnik neben den Werten nach dem internationalen Einheitensystem (SI) auch amerikanische Bezeichnungen Verwendung finden, sind beide Systeme nachfolgend gegenübergestellt.

Bezeichnung	Symbol	Metrisch	SI Einheitensystem International	Imperial anglo Amerikanisch
Kraft <i>F</i> <i>force</i>	<b>F</b>	Kilopond* [kp]	Newton [N]	Pound [lb]
Fläche <i>area</i>	<b>A</b>	Quadratcentimeter [cm <sup>2</sup> ]	Quadratmeter [m <sup>2</sup> ]	Quadratzoll [in <sup>2</sup> ]
Druck <i>pressure</i>	<b>p</b>	bar** [kp/cm <sup>2</sup> ]	Pascal [Pa] [N/m <sup>2</sup> ]	pound per square inch [psi] [lb/in <sup>2</sup> ]

\* kp ist eine veraltete Einheit und wird eigentlich nicht mehr verwendet, kp ist definiert als das Gewicht einer Masse von 1 Kilogramm bei Normalfallbeschleunigung. Es gilt: 1 kp = 9,80665 N (Newton).

\*\* Neben den offiziellen Einheiten werden Drücke nach wie vor auch in bar angegeben, wobei 1 bar = 100 000 Pa. Angaben in atü sind veraltet. Für die Umrechnung zwischen bar und psi gilt: 1 bar = 14,504 psi

Die Grundformeln für die Berechnungen in der Hydraulik lassen sich einfach zusammenfassen:



$$F = A \cdot p$$

$$A = \frac{F}{p}$$

$$p = \frac{F}{A}$$

Abb. 3 Grundformeln der Hydraulik

Die Kraft **F** errechnet sich aus:

$$F = m[\text{kg}] \cdot g \left[ \frac{\text{m}}{\text{sek.}^2} \right]$$

m = Masse des Gewichts  
g = Erdbeschleunigung

F hat somit die Einheit:

$$\left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{sek.}^2} \right] = \text{Newton}$$

Mit der Kolbenfläche A ergibt sich folgender Druck:

$$p = \frac{F}{A} \left[ \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \right]$$

### 1.1.5 Arbeit in Hydrauliksystemen

Kraft multipliziert mit der Länge des Wegs ergibt in der Mechanik den Begriff der **Arbeit**. Dieser Begriff ist eng mit den Vorgängen in der hydraulischen Anlage verbunden. Füllt man einen Tank mit einer Flüssigkeit, wird dabei Arbeit geleistet. Die Flüssigkeit muss in den Tank hineingepumpt oder -geschüttet werden. In beiden Fällen muss die Masse der Flüssigkeit, die unter dem Einfluss der Erdanziehungskraft eine Gewichtskraft darstellt, hochgepumpt oder angehoben werden (Begriff WEG). Längs dieses Wegs (s) wird Kraft (F) angewendet, d.h. Arbeit (W) verrichtet, d.h.  $W = F \cdot s$ .

Als weiterer Faktor kommt die Zeit hinzu. Die Zeit, in der eine Arbeit verrichtet wird (also Arbeit pro Zeiteinheit), bestimmt die Größe der **Leistung**:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t}$$

Der Vollständigkeit halber sei hier auch der Begriff **Energie** angeführt. Mit dem Begriff Energie wird das Vermögen bezeichnet, unter bestimmten Bedingungen Arbeit zu leisten.

Abb. 4 zeigt, dass die **Form** des in einem Zylinder verwendeten Kolbens keinen Einfluss auf die entstehenden Kräfte hat. Ob die Kolbenoberfläche plan ist, ob sie die Form einer Kalotte oder eines Kegelstumpfs hat, spielt für das Entstehen der auf die Kolbenstange wirkenden Kraft keine Rolle.

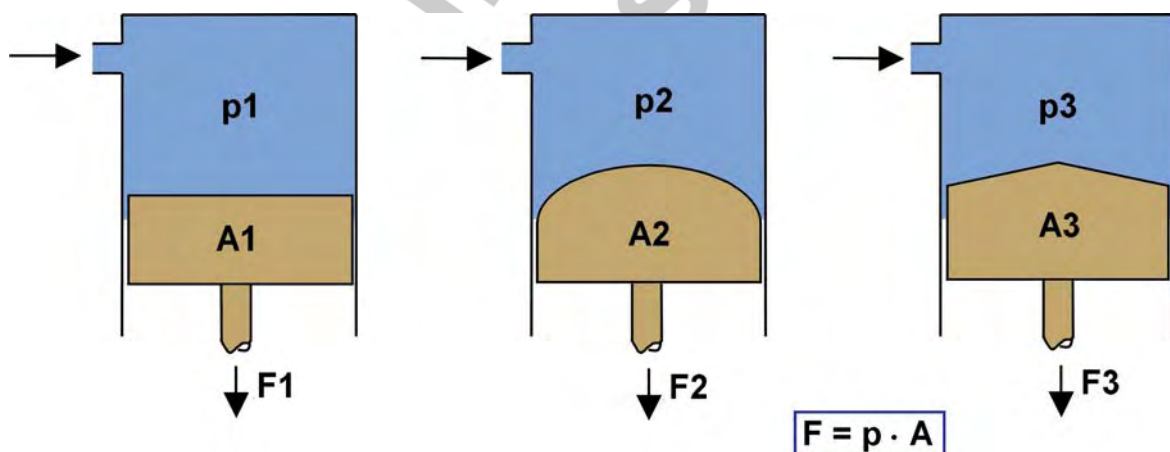


Abb. 4 Kolbenform und ausgeübter Druck

Entscheidend ist nur die Größe des Drucks und die Größe der zur Verfügung stehenden Kolbenoberfläche. Unter Kolbenoberfläche ist hier die Projektion (z.B. des Kegelstumpfs) als Kreisfläche zu verstehen. Ist sowohl diese Fläche als auch die auf die Kolben wirkende Kraft in den drei Zylindern gleich groß, so ist auch die auf die Kolben wirkende Kraft die gleiche.

Abb. 5 zeigt die Relation von Kraft und Arbeit. Die Fläche des Kolbens auf der linken Seite hat nur 1/100 der Größe des Kolbens auf der rechten Seite. Der Druck ist im gesamten System und damit auch auf beiden Kolbenflächen gleich groß.

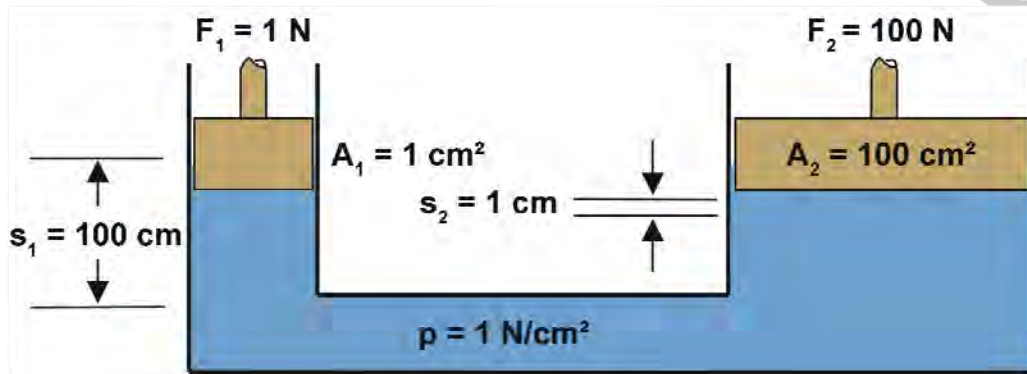


Abb. 5 Relation von Kraft und Arbeit

Es gilt:

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ cm}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Da auch unter dem Kolben 2 der gleiche Druck steht, ergibt sich als Kraft  $F_2$ :

$$F_2 = p \cdot A_2 = \frac{1 \text{ N} \cdot 100 \text{ cm}^2}{\text{cm}^2} = 100 \text{ N} \quad \text{oder:} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{1 \text{ N}}{100 \text{ N}} = \frac{1 \text{ cm}^2}{100 \text{ cm}^2}$$

Das Verhältnis der Flächen entspricht dem Verhältnis der Kraft. Da bei einer Kolbenverschiebung das Flüssigkeitsvolumen  $V_1$  und  $V_2$  gleich sein muss, errechnet sich der Kolbenweg folgendermaßen:  $V = A \cdot s = \text{konstant}$  oder  $V = A_1 \cdot s_1 = A_2 \cdot s_2$ .

$$s_2 = \frac{A_1 \cdot s_1}{A_2} = \frac{1 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ cm}}{100 \text{ cm}^2} = 1 \text{ cm} \quad \text{oder:} \quad \frac{s_1}{s_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Wenn der linke Kolben einen Weg von 100 cm beschreibt und damit eine Arbeit  $W_1$  von 100 N/cm verrichtet, legt der rechte Kolben nur einen Weg von 1 cm zurück, wobei sich ergibt, dass auch am rechten Kolben eine Arbeit  $W_2$  von 100 N/cm verrichtet wird.

$$W = F \cdot s = \text{konstant}$$

$$W_{1,2} = F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2 = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 100 \text{ N} \cdot 0,01 \text{ m} = 1 \text{ Nm (oder Joule)}$$

Dieser Vorgang ist mit den Gesetzmäßigkeiten zu vergleichen, die an einem ungleicharmigen Hebel herrschen. Der lange Arm benötigt nur eine geringe Kraft (kleiner Kolben - langer Weg), um mit dem kurzen Arm, auf dem die große Last (Kraft) liegt, das Gleichgewicht zu halten (großer Kolben - kurzer Weg).

Da die beiden Arbeiten in der gleichen Zeit ausgeführt werden, ist auch die Leistung auf beiden Seiten gleich. Die Leistung spielt bei der Beurteilung einer Hydraulikanlage eine wichtige Rolle. Die Leistung ist definiert durch das Produkt aus Volumenstrom und wirksamen Druck.

Der Volumenstrom wird in Liter/Minute (l/min) oder  $\text{dm}^3/\text{min}$  und der Druck in bar eingesetzt. Die Leistung ist also umso größer, je größer Volumenstrom und Druck sind. Moderne Flugzeuge haben je nach Größe Leistungen zwischen 30 und 50 PS und verwenden Druckstärken zwischen 1500 psi bei Kleinflugzeugen und 3000 psi bei Großflugzeugen. Die hohe Leistung wird durch hohen Systemdruck und kleine Durchflussmenge erreicht.

## 1.2 Hydraulikflüssigkeiten

### 1.2.1 Allgemeines

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die Lebensdauer des Öls bedeutsam. Je nach den chemischen Komponenten kann es insbesondere durch Kontakt mit Wasser, z.B. Kondenswasser, zu einer Zersetzung des Öls oder Korrosion innerhalb der Aggregate kommen. Angesichts der Bedeutung von Wärme für chemische Reaktionen tritt dieser Effekt besonders bei hohen Temperaturen auf. Höhere Stabilität der Flüssigkeit, also die "Lebensdauer", zahlt sich durch längere Serviceintervalle aus, was wiederum weniger Personalkosten, kürzere Bodenzeiten und niedrigere Materialkosten bedeutet.

Angesichts der besonderen Bedingungen, unter denen die hydraulischen Systeme im Luftfahrtbereich arbeiten, sind die Anforderungen an die Hydraulikflüssigkeit deutlich höher als bei hydraulischen Anwendungen im allgemeinen Maschinenbau. Neben der Sicherheitsfrage stellt sich in der gewerblichen Luftfahrt auch die Frage der Ökonomie beim Betrieb einer Flugzeugflotte, zu der Maschinen verschiedener Hersteller und unterschiedlicher Typen gehören. Bevor ein Öl in einem Flugzeug zum Einsatz kommt, muss der Hersteller der entsprechenden Maschine das Hydrauliköl einer ganzen Reihe von Tests unterziehen.

Eine der wichtigsten Forderungen an das Hydrauliköl ist eine geringe Kompressibilität und ein möglichst hoher Flammpunkt, also die Temperatur, bei der sie in Brand gesetzt werden kann. Korrosionsschutz ist eine weitere wichtige Forderung an Hydrauliköle für Flugzeuge, auch hier geht es um die Aufnahmefähigkeit von Wasser. Diese sollte möglichst gering sein. Die Hydraulikflüssigkeit hat nicht nur die Aufgabe Kraft innerhalb des hydraulischen Systems zu übertragen, sie soll durch ihre Schmierfähigkeit die Komponenten des Systems auch vor Abnutzung bewahren. Die Zähflüssigkeit (Viskosität) muss richtig gewählt und darüber hinaus in einem weiten Temperaturbereich etwa konstant bleiben: dickflüssiges oder harziges Öl in den Zylindern lässt diese bald undicht werden.

Hydraulikflüssigkeiten müssen über folgende Eigenschaften verfügen:

- Wärmestabilität
- Korrosionsfestigkeit
- geringe Emulsionsfähigkeit
- hoher Flammpunkt

### 1.2.2 Mineralische und synthetische Hydrauliköle

Wir unterscheiden prinzipiell mineralische und synthetische Hydrauliköle. Unterschiedliche Hydraulikflüssigkeiten kann man an der Färbung unterscheiden, so sind z.B. synthetische Hydrauliköle lilafarben.

**MINERALISCHE HYDRAULIKÖLE** sind auf Mineralölbasis mit entsprechenden Additiven aufgebaut. Die Additive werden zur Optimierung der Alterungsbeständigkeit, des Korrosionsschutzes und der Verbesserung des Viskositäts-Temperatur-Verhaltens dem Öl beigemischt.

**SYNTHETISCHE HYDRAULIKÖLE** bestehen aus Phosphatester, aus wasserfreien chlorierten Kohlenwasserstoffen oder aus Fettsäureestern. Sie haben eine höhere Dichte als Mineralöl oder Wasser. Chemisch sind synthetische Öle jedoch aggressiver und greifen viele Dichtungswerkstoffe an. Sie sind schwer entflammbar und gut einsetzbar für Temperaturen zwischen  $-20\text{ °C}$  bis über  $+150\text{ °C}$ .

Beim Einbau von Hydraulikanlagen muss auf die Betriebstemperatur geachtet werden. Zu hohe Temperaturen beeinträchtigen die Viskosität und können zur Dampfblasenbildung oder zur Entzündung der Flüssigkeit führen. Deshalb wird die Hydraulikanlage an mehreren Temperaturmessstellen überwacht. In modernen Hydraulikanlagen werden vorwiegend synthetische Öle verwendet, da sie die hohen Temperaturanforderungen bis über  $160\text{ °C}$  am besten erfüllen. Die Hydrauliköle sind in der Zusammensetzung oft so unterschiedlich, dass ein Mischen verschiedener Sorten nicht möglich ist, auch die im Hydrauliksystem verwendeten Dichtungen sind auf das jeweilige Hydrauliköl abgestimmt.

Im Handel findet man die verschiedensten Sorten, wie z.B.:

- Skydrol LD 4
- Mil-H-5606 (Farbe hellrot)
- Aerosafe 2300 W
- Skydrol 500 B
- Hyjet 4

### 1.2.3 Charakteristische Eigenschaften der Hydrauliköle

Heutzutage werden immer höhere Anforderungen an die modernen Hydrauliköle gestellt, die sie in ihrer natürlichen Form als reines Mineralöl schon lange nicht mehr erfüllen können.

Durch chemische Wirkstoffe lassen sich die Eigenschaften von Ölen jedoch gezielt verändern. Heute wird beinahe jedem Öl und Schmierfett eine speziell für den Anwendungsfall zusammengestellte Wirkstoff-Kombination in Form von Additiven zugegeben. Damit werden gezielt die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Öls angepasst.

Eigenschaften des Schmierstoffs	durch Additive beeinflussbar	nur durch Additive zu erreichen	nicht durch Additive beeinflussbar
Kälteverhalten	X		
Alterungsstabilität / Oxidation	X		
Viskositäts-Temperatur-Verhalten	X		

Eigenschaften des Schmierstoffs	durch Additive beeinflussbar	nur durch Additive zu erreichen	nicht durch Additive beeinflussbar
Korrosionsschutz	X		
Schmutzlöse-Vermögen	X	X	
Schaumverhalten	X	X	
Luftabgabeverhalten			X
Wasserabscheidevermögen			X

### KÄLTEVERHALTEN

Mit einem Stockpunkterniedriger wird das Tieftemperatur-Verhalten des Schmierstoffes verbessert. Der Pourpoint bezeichnet dabei die Temperatur, bei der das Öl bei Minus-Graden gerade noch fließt.

### ALTERUNGSSTABILITÄT

Antioxidantien verzögern die Öloxidation (Ölalterung) und die Bildung von Alterungsprodukten. Unter der Einwirkung von Wärme und Sauerstoff oxidieren Öle. Es können Säuren und ö unlösliche Bestandteile entstehen, die lackähnliche Ablagerungen wie Harze und Schlamm bilden. Die Viskosität des Öles steigt dann an. Dieser Prozess wird durch Spuren von Verunreinigungen, wie metallischem Abrieb, Wasser oder Staub noch beschleunigt.

### THERMISCHE STABILITÄT / VISKOSITÄTS-TEMPERATUR-VERHALTEN

Viskositätsindex-Verbesserer erhöhen den Viskositätsindex des Öls. Vor allem bei hohen Temperaturen wird das Öl durch sie nicht so dünnflüssig. Das Mineralöl wird weniger temperaturempfindlich. Moderne Hydrauliköle erreichen erst durch den Einsatz dieser Zusätze ein Viskositäts-Temperatur-Verhalten, das den Anforderungen der Maschinenelemente gerecht wird.

### KORROSION / KORROSIONSCHUTZ

Korrosions-Inhibitoren erzeugen einen Schutzfilm auf metallischen Oberflächen. Sie verhindern den Zutritt von Wasser bzw. Sauerstoff zur Oberfläche des Werkstoffs und neutralisieren saure Reaktionsprodukte aus dem Additivabbau oder der Oxidation.

### KAVITATION

Kavitation entsteht, wenn in strömenden Flüssigkeiten Geschwindigkeitsänderungen entstehen. Diese Geschwindigkeitsänderungen werden von allen Bauelementen erzeugt, die in Flüssigkeit tauchen. An solchen Stellen bilden sich Hohlräume, in denen schlagartig eine Kondensation von Dampfblasen erfolgt. Dies äußert sich in erheblichen Schallabstrahlungen und in der Oberflächenzerstörung der Bauelemente. Die Kavitation ist unter anderem von der Beschaffenheit der Hydraulikflüssigkeit und vom Leitungsquerschnitt abhängig. Sie entsteht hinter Stellen mit kleinem statischen Druck. Den größten Widerstand gegen Kavitation bieten synthetische Hydraulikflüssigkeiten. Um Kavitation, z.B. in der Pumpe, zu verhindern, wird das Hydrauliköl mit Druck beaufschlagt.

### 1.2.4 Umgang mit Hydraulikflüssigkeiten

Prinzipiell ist beim Umgang mit Hydraulikflüssigkeiten extreme Vorsicht geboten. Spezielle Handhabungshinweise findet man im Sicherheitsdatenblatt des Herstellers. Allgemein sind folgende Punkte wichtig:

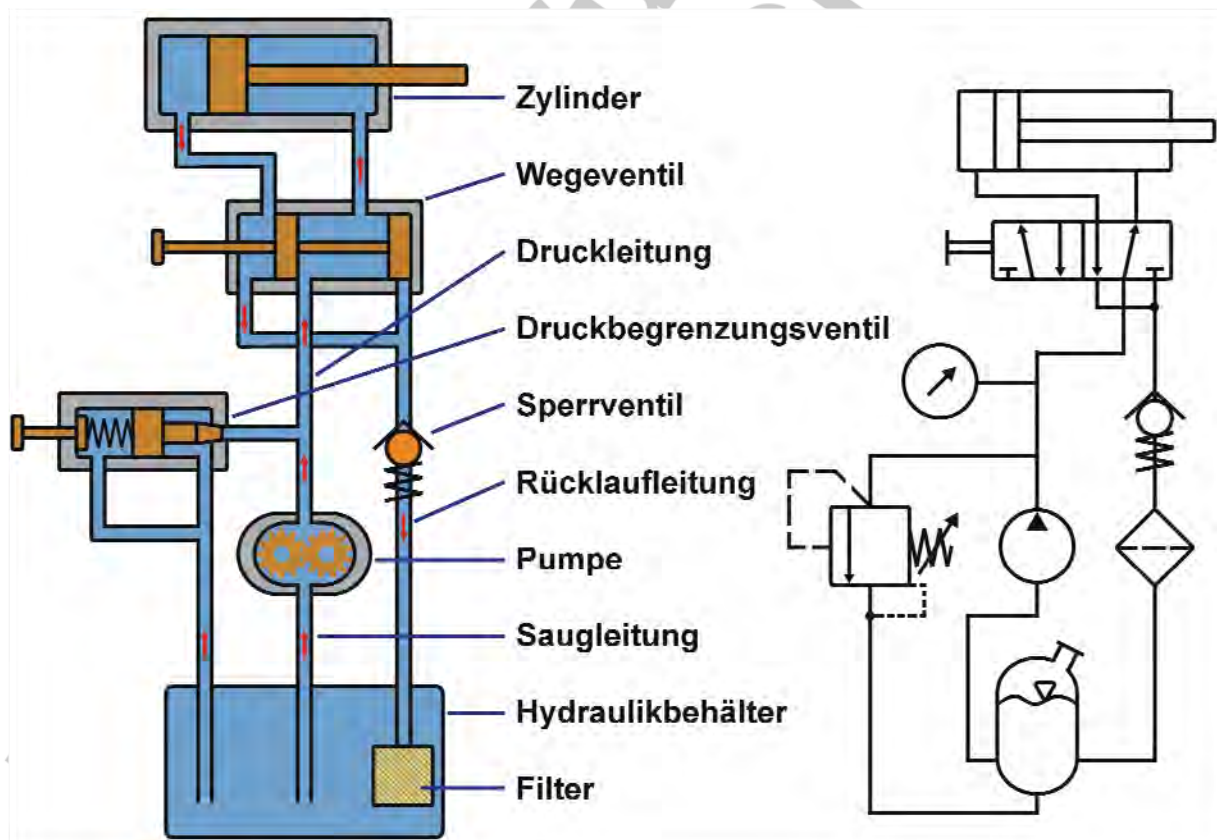
- bei Handhabung Schutzhandschuhe tragen;
- mit Öl verunreinigte Kleidungsstücke unverzüglich ausziehen;
- bei Augenberührung sofort mit reichlich Wasser über langen Zeitraum spülen;
- bei Hautberührung sofort mit viel Wasser und Seife waschen;
- bei anhaltenden Symptomen ärztlichen Rat einholen.

**Hydraulikflüssigkeiten können Haut und Augen reizen, es besteht Verdacht auf krebserregende Wirkung.**

## 1.3 Hydraulikanlagen

### 1.3.1 Systemkomponenten

Das nachfolgend dargestellte Systembild zeigt die wesentlichen Komponenten einer aktiven Konstantdruck-Hydraulikanlage.




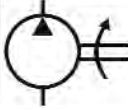

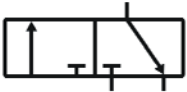
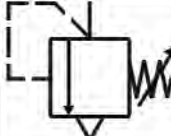

**Abb. 6** Schematischer Aufbau und Blockschaltbild einer Hydraulikanlage

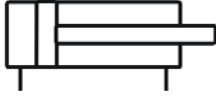


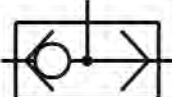
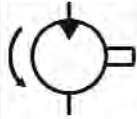




Abb. 6 zeigt den schematischen Aufbau einer einfachen Hydraulikanlage. Sie umfasst im einfachsten Fall einen Hydrauliktank, eine Pumpe zur Druckerzeugung, Leitungssystem zum Energietransport sowie ein Ventil und einen Zylinder (*jack*), um die gewünschte Bewegung auszuführen. Über Rücklaufleitungen und Filter wird das Hydrauliköl in den Behälter zurückgeführt.

Bei realen Hydraulikanlagen in Flugzeugen wird zur Überwachung der Füllstand des Hydrauliktanks und der Systemdruck der Anlage im Cockpit angezeigt. Die Symbole des Blockschaltbildes sind nachfolgend beschrieben.

### 1.3.2 Symbolik einer Hydraulikanlage

Nachfolgend sind die wichtigsten Symbole für Hydraulik-Schemapläne aufgeführt. Die meisten Hersteller verwenden in Ihren Beschreibungen und Dokumentationen jedoch eigene Symbolik.

	<p>Der Ölbehälter bevorratet das Hydrauliköl. Um in allen Lagen die Ölversorgung aufrecht zu erhalten, werden die Ölbehälter bei Flugzeugen über die Abzapfluft der Triebwerksverdichterstufe (<i>bleed air</i>) unter Druck gesetzt.</p>
	<p>Die Hydraulikpumpen liefern den benötigten Hydraulikdruck für das System und werden meist direkt vom Triebwerk angetrieben. Typische Druckwerte sind 3000 psi. Für die Notbetätigung von Systemen werden Handpumpen bzw. Pumpen, die von der anströmenden Luft angetrieben werden (RAT), eingesetzt.</p>
	<p>Druckspeicher (Druck Akkumulator) speichern die Hydraulikflüssigkeit unter Druck. Werden große Verbraucher betätigt, steht somit der benötigte Volumenstrom sofort zur Verfügung. Akkus dienen auch als Energiereservoir für den Notbetrieb bestimmter Systeme und zur Dämpfung von Druckstößen.</p>
	<p>Ventile schalten den Hydraulikdruck auf die entsprechenden Stellzylinder (Aktoren). Die Ventilstellungen können dabei elektrisch, mechanisch oder wiederum hydraulisch betätigt werden. Abhängig der Schaltstellungen, der Betätigung und der Anschlüsse werden die Ventile z.B. als elektrisches 3/2 Wegeventil bezeichnet (3 Anschlüsse / 2 Schaltstellungen / elektrisch betätigt).</p>
	<p>Über Druckregler werden die Drücke im System konstant gehalten bzw. auf verschiedenen Werte eingestellt. Innerhalb eines Hydrauliksystems, in welchem die Pumpe permanent fördert, wird über den Druckregler der Überdruck in den Behälter abgelassen.</p>
	<p>Rückschlagventile sperren den Hydraulikstrom in einer Richtung ab. Oftmals werden die Rückschlagventile in Kombination mit einer Drossel eingesetzt, um Bewegungen in eine Richtung zu dämpfen.</p>

	Hydraulikzylinder oder auch Aktoren betätigen die mechanischen Baugruppen wie z.B. Fahrwerk, Klappen oder Spoiler. Für die verschiedenen Aufgaben sind einfach wirkende bzw. doppelt wirkende Zylinder eingesetzt.
	Filter reinigen das im Rücklauf fließende Öl bevor es zurück in den Behälter bzw. Ölkreislauf kommt. Falls ein Filter durch Verunreinigungen zugesetzt wurde, wird das Öl über Leitungen (Bypass) direkt und ungereinigt am Filter vorbei geleitet.
	Druckmanometer erlauben die Überwachung des Systemdrucks. In modernen Luftfahrzeugen werden die Druckwerte über Drucksensoren erfasst und zur Anzeige gebracht.
	<i>Shuttle valve</i> (Rückschlag-Wechselventil oder auch ODER-Ventile) werden eingesetzt, um hydraulische Funktionen aus unterschiedlichen Druckquellen zu versorgen, z.B. kann bei Ausfall eines Systems das Hilfssystem die Funktion hinter dem <i>shuttle valve</i> übernehmen ohne den Druck in die andere Leitung zu verlieren.
	Hydraulik-Motoren werden bei Luftfahrzeugen vorwiegend zum Antrieb der Generatoren verwendet. Bei konstantem Hydraulikdruck bleibt die Generator-drehzahl somit unabhängig von der Triebwerksdrehzahl ( <i>constant speed drive</i> ).
	Drosseln sind feste bzw. einstell- und steuerbare Verengungen in den Hydraulikflussleitungen. Es wird die Geschwindigkeit des Hydraulikvolumenstroms geregelt und somit die Bewegungsgeschwindigkeit der dahinter liegenden Zylinder oder Aktoren.
	Kühler ( <i>heat exchanger</i> ). Diese Wärmetauscher sind meist Flüssigkeit/Flüssigkeit-Wärmetauscher. Die Hydraulikflüssigkeit wird über ein Rohrschlängensystem zurückgeführt, dieses ist meist in einem der Integraltanks untergebracht und kühlt das Hydrauliköl mit dem Kraftstoff der außen um das Rohrschlängensystem liegt.
	Absperrventile ( <i>shut off valve</i> ) dienen dazu, bei Störungen z.B. Überhitzung oder Feuer den Mediumstrom zu unterbrechen. Die Ventile können manuell oder auch elektrisch gefahren werden.
	Druckablassventile ( <i>relief valves</i> ) sind vom Aufbau her Rückschlagventile die mit einer einstellbaren Federkraft geschlossen gehalten werden. Übersteigt der anliegende Systemdruck den eingestellten Wert öffnen die Ventile und lassen den Druck zurück in den Behälter ab.

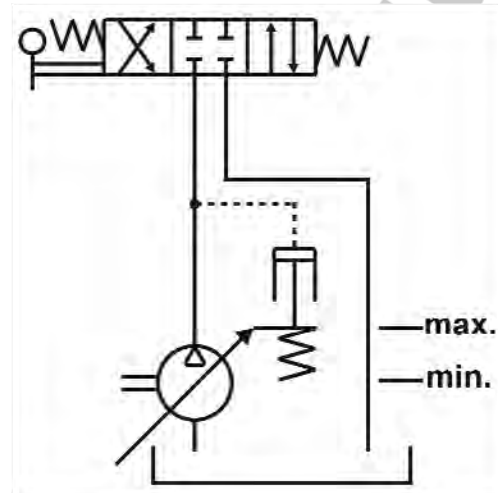
### 1.3.3 Aufbau verschiedener Hydrauliksysteme

Prinzipiell unterscheiden wir aktive und passive Hydrauliksysteme. Aktive Systeme beinhalten eine Pumpe zur Druckerzeugung, passive Systeme, wie z.B. Dämpfungssysteme, arbeiten zwar nach dem Hydraulikprinzip, der Druck wird jedoch nicht über eine Pumpe, sondern meist durch Auslenkung eines hydraulischen Elementes erzeugt.

Desweiteren wird unterschieden ob der nötige Hydraulikdruck permanent anliegt (Konstantdrucksysteme) oder ob der Hydraulikdruck nur bei Bedarf aufgebaut wird wie z.B. bei hydraulischen Bremsanlagen.

**OPEN CENTER HYDRAULIKSYSTEM**

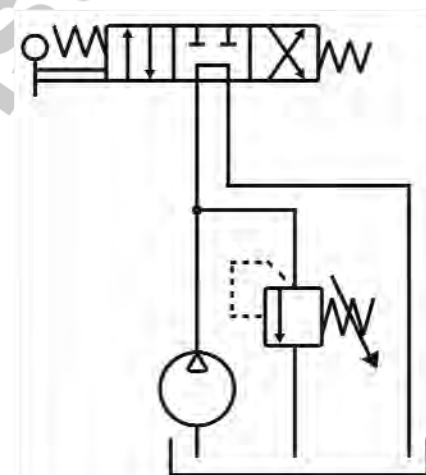
Hydraulische Schaltung, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die hintereinander geschalteten Wegeventile in der Mittelstellung für den Ölstrom offen sind, sodass der volle Pumpenförderstrom der Konstantpumpe durch alle Ventile hindurchgeführt wird. Der Arbeitsdruck wird über das Druckregelventil gehalten. Bei diesem System können sehr hohe Durchströmungsverluste auftreten.

**Abb. 7**

*Schema einer Open  
Center Hydraulikanlage*

**CLOSED CENTER HYDRAULIK SYSTEM**

Dabei sind die Wegeventile in der Mittelstellung geschlossen. Der Volumenstrom wird entweder über ein Umlaufventil geleitet (bei Konstantpumpen) oder bei Verstellpumpen mit Leistungsbegrenzung und Druckabschneidung auf Minimalförderung unter Druck gestellt. Über einen Druckspeicher wird die nötige Energie gespeichert, um beim Schalten der Ventile den nötigen Volumenstrom bereit zu stellen bevor die Pumpe die entsprechende Förderleistung bringt.

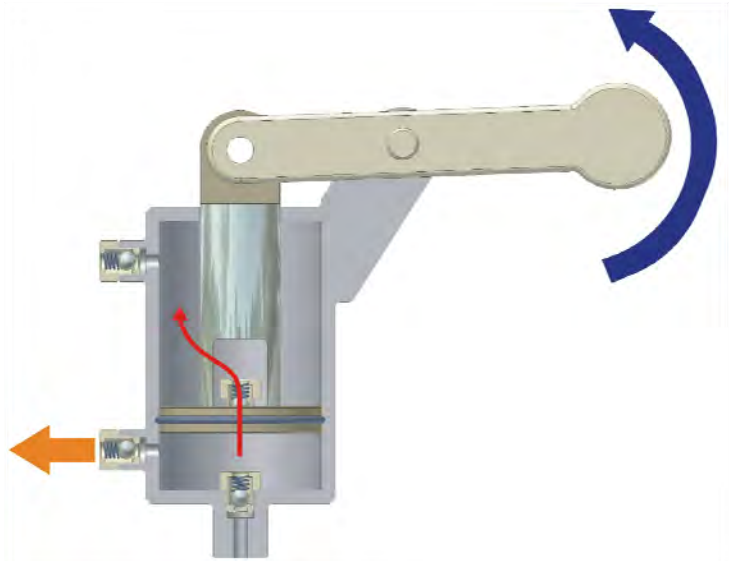
**Abb. 8**

*Schema einer Closed  
Center Hydraulikanlage*



**Abb. 10**

*Hydraulische Handpumpe  
Doppeltwirkend Hub 2*

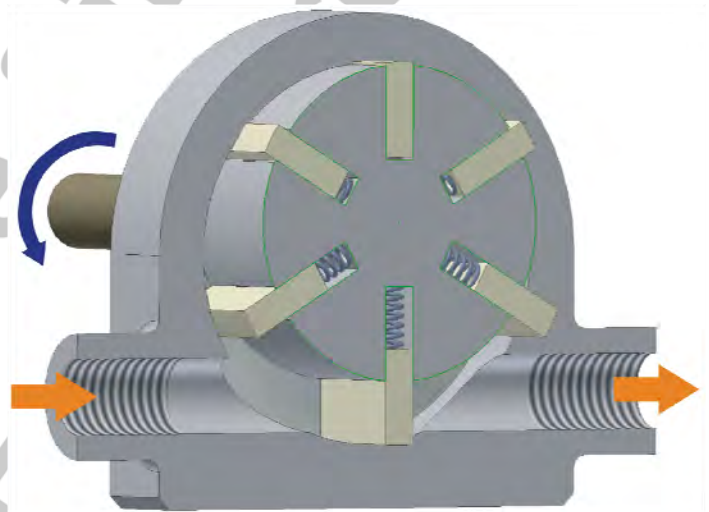


### 1.4.2 Flügelzellenpumpen

Pumpen dieser Art werden mit konstantem Fördervolumen pro Umdrehung, mit ein- und zweimaliger Förderung und auch mit variablem Fördervolumen angeboten, werden jedoch wie Zahnradpumpen wegen hoher Spaltverluste kaum eingesetzt.

**Abb. 11**

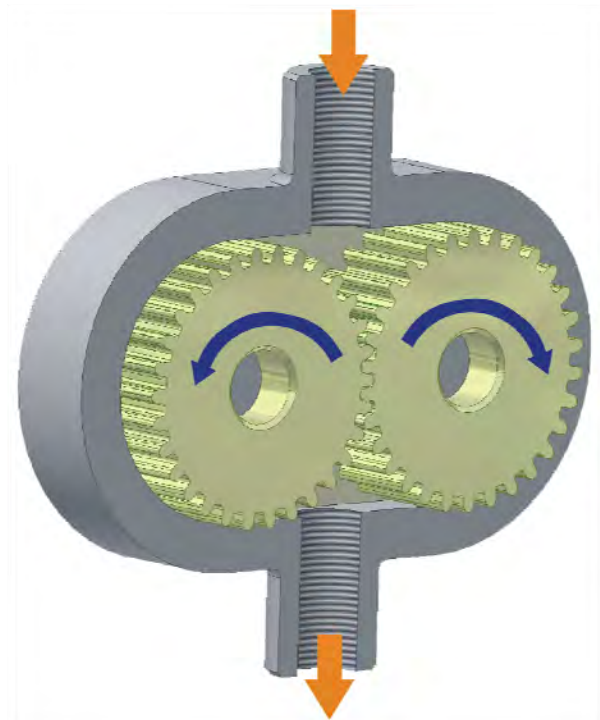
Flügelzellenpumpe



### 1.4.3 Zahnradpumpen

Eine einfachere Art von Pumpe ist die Zahnradpumpe. Diese gibt es nur mit konstantem Verdrängungsvolumen pro Umdrehung. Bei unterschiedlichem Leistungsbedarf muss diese Pumpe daher ein- und ausgeschaltet werden oder der Druck über Druckregler im Konstantförderbetrieb geregelt werden. Wegen der hohen Spaltverluste bei hohem Druck sind solche Pumpen als Systempumpen ungeeignet.

**Abb. 12**  
*Zahnradpumpe*



Fernschule für  
Ernst Grög

**Selbstkontrollaufgaben:** (→ verweist auf die Fundstelle zur jeweiligen Selbstkontrollaufgabe)

1. Bei gewerblich betriebenen Transportflugzeugen wird das Fahrwerksbetriebssystem meist → Kap. 1.1.1
  - a) pneumatisch angetrieben.
  - b) hydraulisch angetrieben.
  - c) elektrisch angetrieben.
  - d) mechanisch angetrieben.
  
2. Hydraulische Energie ist eine Funktion → Kap. 1.1.2
  - a) der Pumpendrehzahl.
  - b) von Pumpengröße und Volumendurchfluss.
  - c) von Systemdruck und Volumendurchfluss.
  - d) von Systemdruck und Tankkapazität.
  
3. Hydraulikflüssigkeiten → Kap. 1.2.4
  - a) reizen Augen und Haut und verursachen große Feuergefahr.
  - b) reizen Augen und Haut.
  - c) verursachen große Feuergefahr.
  - d) erfordern keine besondere Vorsicht.
  
4. Hydraulische Flüssigkeiten müssen folgende Merkmale haben: → Kap. 1.2.1
  1. Wärmestabilität
  2. geringe Emulsionsfähigkeit
  3. Korrosionsfestigkeit
  4. gute Verbrennungsfestigkeit
  5. große Verdichtung
  6. hohe Flüchtigkeit
  7. hohe Viskosität

a) 1, 3, 4, 6      b) 1, 2, 3, 4      c) 1, 2, 5, 7      d) 2, 3, 4, 5
  
5. Welche Art von Hydrauliköl wird in modernen Systemen verwendet? → Kap. 1.2.2
  - a) eine Mischung aus Mineralöl und Alkohol
  - b) synthetisches Öl
  - c) Mineralöl
  - d) pflanzliches Öl
  
6. Wie nennt man das Bauteil, das hydraulischen Druck in lineare Bewegung umwandelt? → Kap. 1.3.1
  - a) Akkumulator
  - b) hydraulische Pumpe
  - c) Betätigungsglied (*actuator*) oder Hebebock (*jack*)
  - d) Druckregler
  
7. Das Hydrauliksystem in Flugzeugen wurde entworfen, um Folgendes zu produzieren: → Kap. 1.3.1
  - a) niedrigen Druck und geringen Durchfluss
  - b) hohen Druck und geringen Durchfluss
  - c) niedrigen Druck und großen Durchfluss
  - d) hohen Druck und großen Durchfluss
  
8. Die Leistung einer Hydraulikpumpe ist abhängig von → Kap. 1.1.2
  - a) der Pumpendrehzahl.
  - b) dem Systemdruck und dem durchgesetzten Volumen.
  - c) dem Systemdruck und dem Tankvolumen.
  - d) der Pumpendrehzahl und dem Tankvolumen.

9. Bei Hydraulikanlagen in Großflugzeugen liegt der Systemdruck bei ca.: → *Kap. 1.1.5*
- a) 4000 psi = 280 kg/cm<sup>2</sup>                      c) 2000 psi = 140 kg/cm<sup>2</sup>  
b) 3000 psi = 210 kg/cm<sup>2</sup>                      d) 1000 psi = 700 kg/cm<sup>2</sup>
10. Die hohen Leistungen in modernen Hydrauliksystemen werden erreicht durch: → *Kap. 1.1.5*
- a) kleine Systemdrücke und hohe Durchsätze  
b) mittlere Systemdrücke und kleine Durchsätze  
c) mittlere Systemdrücke und hohe Durchsätze  
d) hohe Systemdrücke und kleine Durchsätze
11. Kavitation kann in Hydraulikanlagen entstehen hinter Stellen mit: → *Kap. 1.2.3*
- a) kleinen statischen Drücken                      b) großen statischen Drücken
12. Warum wird Hydrauliköl, das in die Hydraulikpumpe fließt, leicht durckbeaufschlagt? → *Kap. 1.2.3*
- a) um Kavitation in der Pumpe zu verhindern  
b) um den Ausgangsdruck der Pumpe zu gewährleisten  
c) um eine ausreichende Leistung der Pumpe zu gewährleisten  
d) um Dampfblasen zu verhindern.

### Lösungen zu den Selbstkontrollaufgaben:

1	b	5	b	9	b
2	c	6	c	10	d
3	b	7	d	11	a
4	b	8	b	12	a

**Testaufgaben:** (→ verweist auf die Fundstelle zur jeweiligen Testaufgabe)

1. Wie hoch ist der Systemdruck, mit dem die Hydrauliksysteme von Verkehrsflugzeugen normalerweise betrieben werden? → Kap. 1.1.5
  - a) 1000 psi
  - b) 2000 psi
  - c) 3000 psi
  - d) 4000 psi
2. Hydraulische Flüssigkeiten synthetischen Ursprungs sind → Kap. 1.2.2
  - a) rot.
  - b) lila.
  - c) blau.
  - d) pink.
3. Welche Hydraulikflüssigkeiten bieten den größten Widerstand gegen Kavitation? → Kap. 1.2.3
  - a) Flüssigkeiten auf Mineralölbasis
  - b) Flüssigkeiten auf Wasser- und Glykolbasis
  - c) Flüssigkeiten auf der Basis von pflanzlichen Ölen
  - d) synthetische Flüssigkeiten
4. Warum wird der Vorratsbehälter in einem Hydrauliksystem druckbeaufschlagt? → Kap. 1.2.3
  - a) um das System abzudichten
  - b) um die Temperatur der Hydraulikflüssigkeit zu optimieren
  - c) um Kavitation in der Pumpe zu verhindern
  - d) um eine Überlastung der Hydraulikpumpe zu verhindern.
5. Hydraulikflüssigkeiten → Kap. 1.2.2
  - a) dürfen nicht gemischt werden.
  - b) sind durch Farben gekennzeichnet.
  - c) sind ungiftig.
  - d) Antwort a) und b)
6. Warum wird der Vorratsbehälter in einem Hydrauliksystem druckbeaufschlagt? → Kap. 1.2.3
  - a) um das System abzudichten
  - b) um eine optimale Temperatur der Hydraulikflüssigkeit zu gewährleisten
  - c) um Kavitation in der Pumpe zu verhindern
  - d) um die Brennbarkeit der Hydraulikflüssigkeit zu reduzieren
7. Die Leistungsabgabe einer Hydraulikpumpe liegt bei modernen Verkehrsflugzeugen zwischen: → Kap. 1.1.5
  - a) 100 - 150 PS
  - b) 30 - 50 PS
  - c) 10 - 20 PS
  - d) 5 - 10 PS

Name: \_\_\_\_\_

Kundennummer: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Revisionsnummer: \_\_\_\_\_

(→ Bitte dem Kopftext des Inhaltsverzeichnisses entnehmen)

**Testlösungen:**

<b>1</b>	a	b	c	d
<b>2</b>	a	b	c	d
<b>3</b>	a	b	c	d
<b>4</b>	a	b	c	d
<b>5</b>	a	b	c	d
<b>6</b>	a	b	c	d
<b>7</b>	a	b	c	d

\_\_\_\_\_ %