

Theoretische Arbeit

Aufarbeitung und Beschreibung
von ausgewählten
Flugzeugsystemkomponenten

Verfasser: Stefan Warnke
Jan Szameit

Abgabedatum: 01. Juni 2001

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

Kurzreferat

In dieser Arbeit werden ausgewählte Teile der Flugzeughydraulik beschrieben. Es handelt sich um Teile aus dem Flugzeug des Typs VFW 614. Untersucht wurden ein Durchflussmengenregler, ein 3/2 Wege-Absprerrventil, ein Druckminderventil, ein Seitenruderstellmotor und ein Vorratsbehälter (bootstrap reservoir). Die Beschreibung der Funktion und des Einbauortes im Flugzeug basieren auf dem Schulungshandbuch zum Flugzeug. Zum weiteren Verständnis wurden Schnittmodelle von den Teilen in einer Werkstatt angefertigt. Kurz wird auf die Arbeitsschritte zur Erstellung der Schnittmodelle eingegangen. Fotos der erhaltenen Schnittmodelle schließen die Beschreibung der Hydraulikteile ab. Auf die Hydraulikpumpe (von der bereits ein Schnittmodell existiert) wird näher eingegangen: Es wird gezeigt, wie der maximale Volumenstrom der Pumpe aus den Anforderungen des Hydrauliksystems bestimmt werden kann und wie daraus erforderliche Pumpenparameter abgeleitet werden können.



Aufarbeitung und Beschreibung ausgewählter Flugzeugkomponenten

Theoretische Arbeit nach § 11 (3) Ziffer 6 der Prüfungsordnung für zwei Studenten.

Aufgabe

Weitere ausgewählte Flugzeugkomponenten - vor allem Komponenten von Flugzeugsystemen - sollen so aufbereitet werden, dass sie in einem Schaukasten im Fachbereich Fahrzeugtechnik ausgestellt werden können. Von einigen Komponenten sind zum besseren Verständnis der Funktionsweise in einer Werkstatt Schnittmodelle anzufertigen. Teilweise muss der ursprüngliche Einsatzort der Komponenten ermittelt werden. In einem Bericht soll die Funktionsweise der Teile beschrieben werden. Gegebenenfalls sind darüber hinaus auch die Grundlagen der Auslegung der Komponenten zu skizzieren. Ausführlicher soll auf die Auslegung einer triebwerksgetriebenen Hydraulikpumpe eingegangen werden.

Die Auswahl der Komponenten erfolgt in Absprache mit dem Betreuer der Arbeit.

Bei der Erstellung des Berichtes sind die entsprechenden DIN-Normen zu beachten.

Inhalt

	Seite
Verzeichnis der Bilder	II
Verzeichnis der Tabellen	II
Liste der Symbole	III
Liste der Abkürzungen	IV
1 Einleitung	1
2 Durchflussmengenregler	3
2.1 Beschreibung und Funktion des Bauteils	3
2.2 Schnittanfertigung	4
3 3/2 Wege-Absperrventil	5
3.1 Beschreibung und Funktion des Bauteils	5
3.2 Schnittanfertigung	6
4 Druckminderventil	8
4.1 Beschreibung und Funktion des Bauteils	8
4.2 Schnittanfertigung	10
5 Seitenruderstellmotor	11
5.1 Beschreibung und Funktion des Bauteils	11
5.2 Schnittanfertigung	13
6 Vorratsbehälter	15
6.1 Beschreibung und Funktion des Bauteils	15
6.2 Schnittanfertigung	16
7 Auslegung einer Hydraulikpumpe	17
7.1 Aufgabenstellung	17
7.2 Einsatz und Arbeitsweise der Pumpe	17
7.3 Bestimmung des maximalen Verbrauchs	19
7.4 Pumpenberechnung	26
8 Literaturverzeichnis	28

Verzeichnis der Bilder

	Seite
Bild 2.1	Einbau des Durchflussmengenreglers 3
Bild 2.2	Durchflussmengenregler (Funktionsdarstellung) 3
Bild 2.3	Durchflussmengenregler (Schnittdarstellung) 4
Bild 2.4	Durchflussmengenregler (Schnittanfertigung) 4
Bild 3.1	3/2 Wege-Absperrventil 5
Bild 3.2	Hydraulikfluss-Schema 5
Bild 3.3	Einbau der Absperr- und Steuerventile (Gesamtdarstellung) 6
Bild 3.4	3/2 Wege-Absperrventil (Schnittanfertigung) 7
Bild 4.1	Druckminderventil (Schnittdarstellung) 8
Bild 4.2	Ventil-Einbau im Fahrwerksschacht 9
Bild 4.3	Druckminderventil (Schnittdarstellung) 10
Bild 5.1	Einbau des Seitenruderstellmotors im Heck 11
Bild 5.2	Seitenruderstellmotor (Schnitt: Steuerkolben) 13
Bild 5.3	Seitenruderstellmotor (Schnitt: Kraftsimulator) 14
Bild 6.1	Hydraulik-Anschlüsse und Überdruckventil 15
Bild 6.2	Vorratsbehälter (Schnittdarstellung) 15
Bild 6.3	Vorratsbehälter (Schnittanfertigung) 16
Bild 7.1	Hydraulikpumpe Funktionsschema (max. Durchfluss) 17
Bild 7.2	Hydraulikpumpe Funktionsschema (kein Durchfluss) 17
Bild 7.3	Hydraulikpumpe Schnittdarstellung 18

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 7.4	Vergleich EDPs bei verschiedenen Flugzuständen 25
--------------------	---

Liste der Symbole

V	Volumen
Q	Volumenstrom
t	Zeit
n	Drehzahl
z	Kolbenzahl
R	Zylinderradius
l	maximaler Kolbenhub
d	Durchmesser

Griechische Symbole

β	Taumelscheibenanstellwinkel
---------	-----------------------------

Indizes

k	Kolben
g	Geometrisch

Liste der Abkürzungen

bar	Druckeinheit (10^5 Pascal)
DN	down (Klappenstellung)
EDP	engine driven pump (triebwerkgetriebene Hydraulikpumpe)
HD	Hochdruck
HLW	Höhenleitwerk
HP	high pressure (Hochdruck)
LP	low pressure (Niederdruck)
N2	Turbinendrehzahl (Hochdruck)
ND	Niederdruck
psi	Druckeinheit (pound-force per square inch = 6,89476 kPascal)
PTU	power transfer unit (Druckübertragungseinheit)
SLW	Seitenleitwerk

1 Einleitung

Aufgabe ist die Aufarbeitung und Beschreibung ausgewählter Flugzeugkomponenten. Die hier beschriebenen Bauteile stammen aus den Hydrauliksystemen einer VFW 614 und sollen nachfolgend in ihrer Funktionsweise erklärt werden.

Die ausgewählten Schnittmodelle sollen im Foyer des Fachbereiches Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau in einem Schaukasten ausgestellt werden. Anhand von Kurzbeschreibungen kann der Betrachter sich dann über Arbeitsweise und Einsatzort der Bauteile informieren.

Weiterhin wurde die Auslegung einer triebwerksgetriebenen Hydraulikpumpe für eine VFW 614 durchgeführt.

2 Durchflussmengenregler

2.1 Beschreibung und Funktion des Bauteils

Die Durchflußmengenregler sind im linken Hydraulikraum eingebaut und regulieren die Durchflußmenge zur Transfereinheit. Jeder Durchflußmengenregler ist mit dem entsprechenden Magnetabsperrieventil verbunden. Die ordnungsgemäße Einbaulage wird durch einen auf jedem Regler eingravierten Pfeil gewährleistet.

Jeder Durchflußmengenregler begrenzt einlaßseitig den Durchfluß auf $34 \frac{1}{\text{min}}$ und hat in der entgegengesetzten Richtung freien Durchfluß.

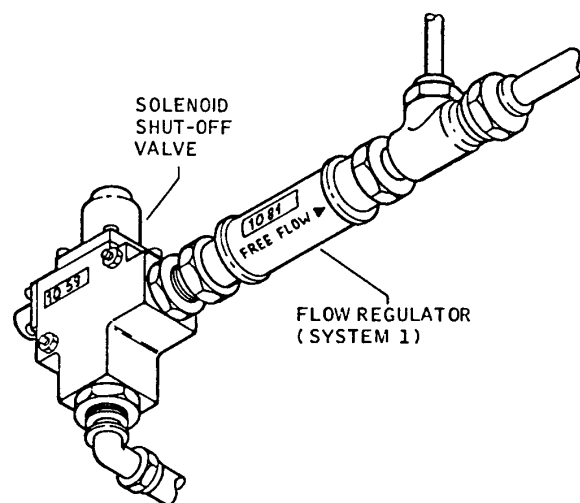


Bild 2.1 Einbau des Durchflussmengenreglers

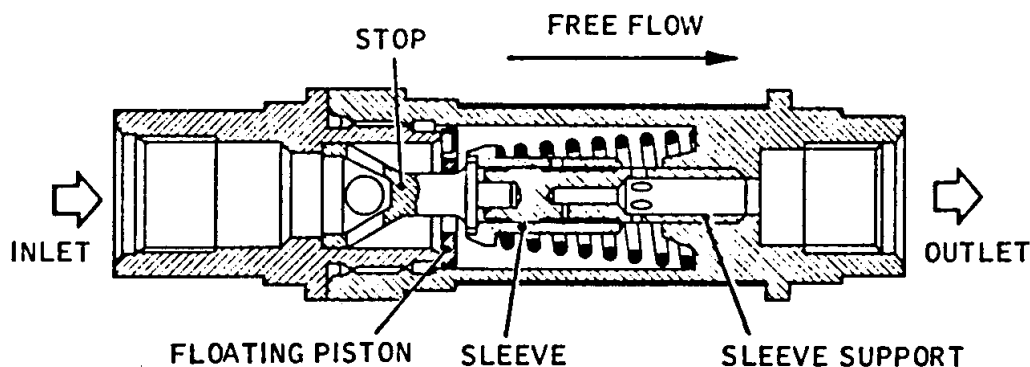


Bild 2.2 Durchflussmengenregler (Funktionsdarstellung)

2.2 Schnitthanfertigung

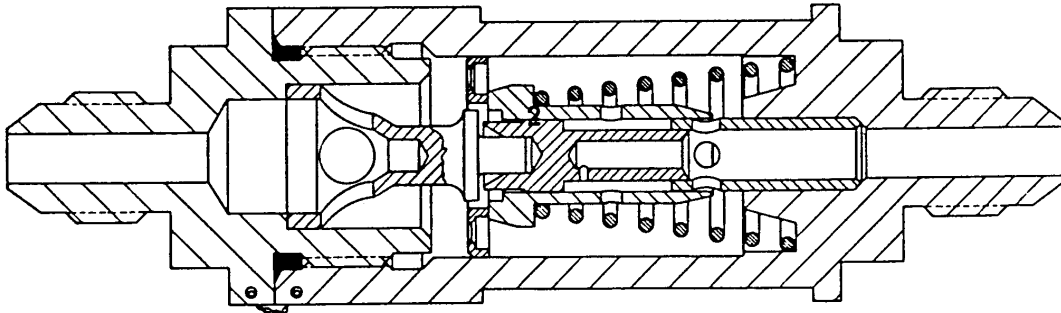


Bild 2.3 Durchflussmengenregler (Schnittdarstellung)

Aufgrund der symmetrischen Geometrie des Bauteiles stellt die Schnitthanfertigung kein Problem dar. Durch vorheriges Auseinanderbauen wird die Bauteilgeometrie geprüft, wobei die inneren, evtl. gehärteten Bauteile ausgebaut werden. Das übriggebliebene Gehäuse wird wieder zusammengeschaubt. Es kann nun eingespannt und mittels eines Walzenstirnfräasers in Längsrichtung plan abgefräst werden.

Dabei ist zu beachten, dass mehr als ein halber Vollkreis stehen bleibt. Dies verhindert ein Rausrutschen der inneren Bauteile aus ihren Führungen. Anschließend werden die anderen Bauteile wieder eingebaut.

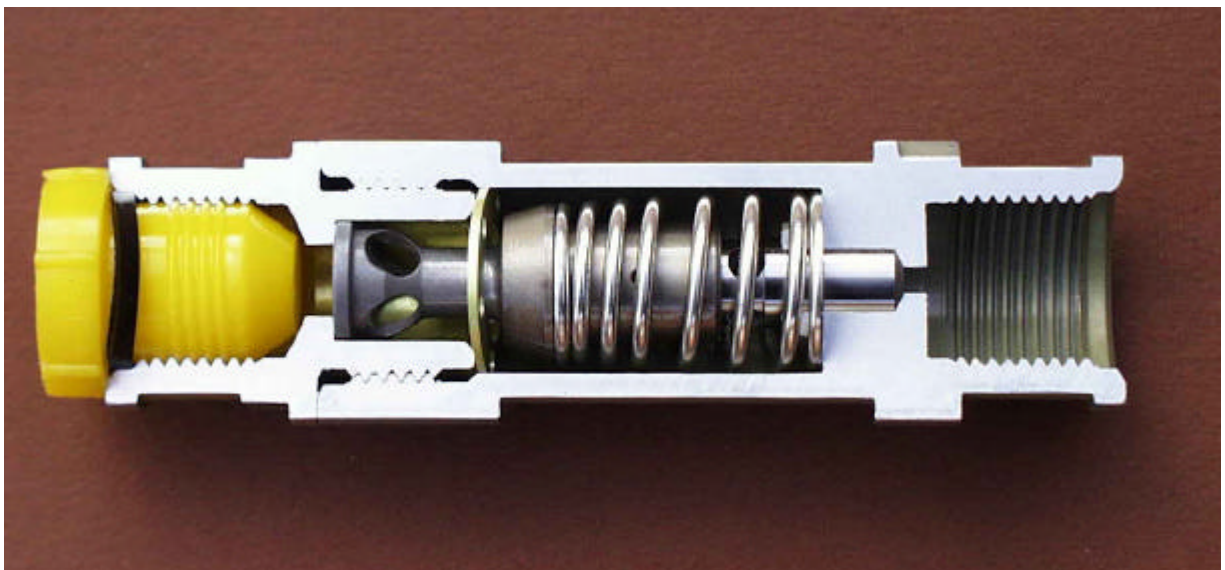


Bild 2.4 Durchflussmengenregler (Schnitthanfertigung)

3 3/2 Wege-Absperrventil

3.1 Beschreibung und Funktion des Bauteils

Das magnetisch betätigte 3/2 Wege-Absperrventil befindet sich im linken Hauptfahrwerkschacht und steuert zusammen mit einem 4/3 Wege-Steuerventil den Flüssigkeitszufluss zu den Bodenbremsklappen. Es soll verhindern, dass die Bodenbremsklappen II bei einem Versagen des Steuerventils ausfahren. Bei erregtem Magneten ist das Ventil geöffnet.

Im rechten Hauptfahrwerksschacht befindet sich ein entsprechendes Pendant, welches dort für die Steuerung der Bodenbremsklappen I und III zuständig ist. Zum besseren Verständnis ist nachfolgend nochmal das Hydraulikfluss-Schema dargestellt.

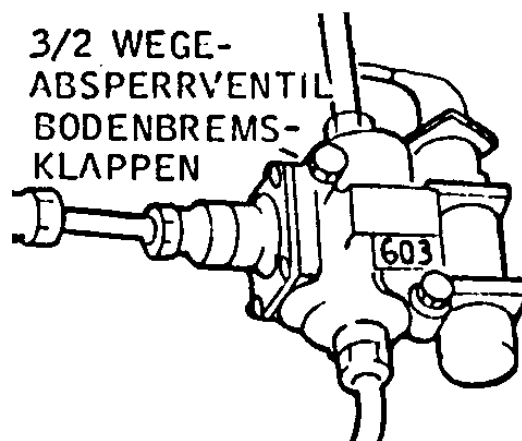


Bild 3.1 3/2 Wege-Absperrventil

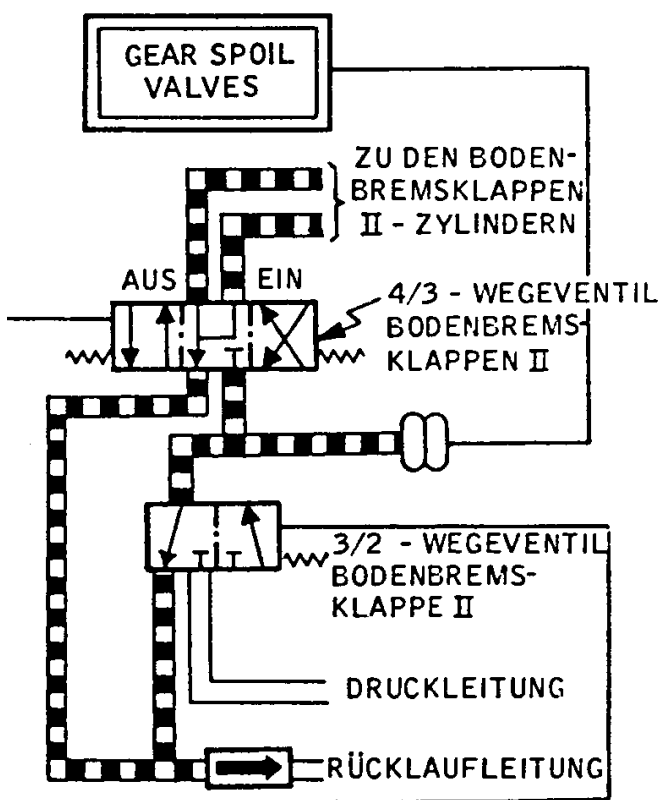


Bild 3.2 Hydraulikfluss-Schema

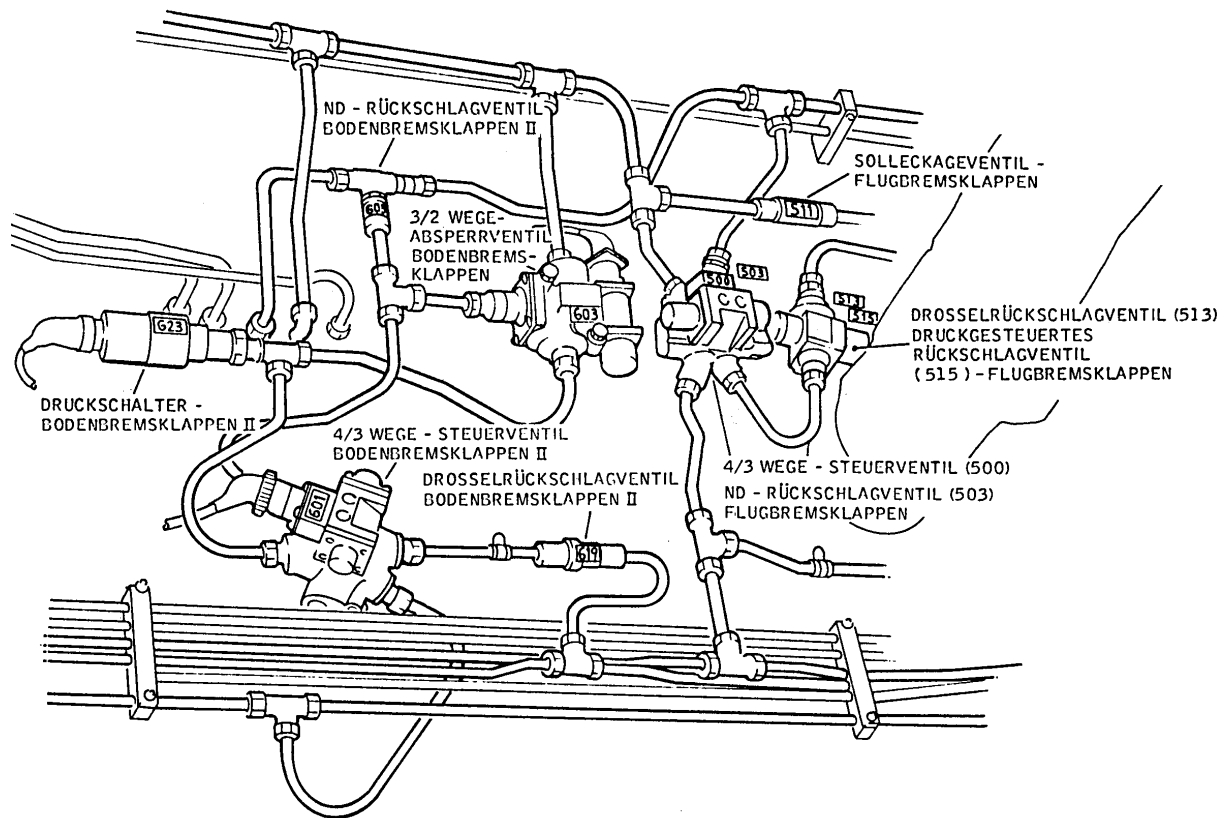


Bild 3.3 Einbau der Absperr- und Steuerventile (Gesamtdarstellung)

3.2 Schnitthanfertigung

Aufgrund der aufwendigeren Geometrie ist die Schnitthanfertigung dieses Bauteils weitaus aufwendiger. Der zu verwendete Walzenstirnfräser muss einen relativ kleinen Durchmesser haben, damit der filigranen Oberflächenkontur besser gefolgt werden kann.

Es wurde versucht, alle Aus- und Eingänge, sowie die elektrische Versorgung im Schnitt mit zu berücksichtigen. Der vorherige Ausbau der gehärteten Innenteile gestaltete sich als schwierig, da aufgrund der Gussstruktur ein Öffnen des Bauteils nicht möglich war

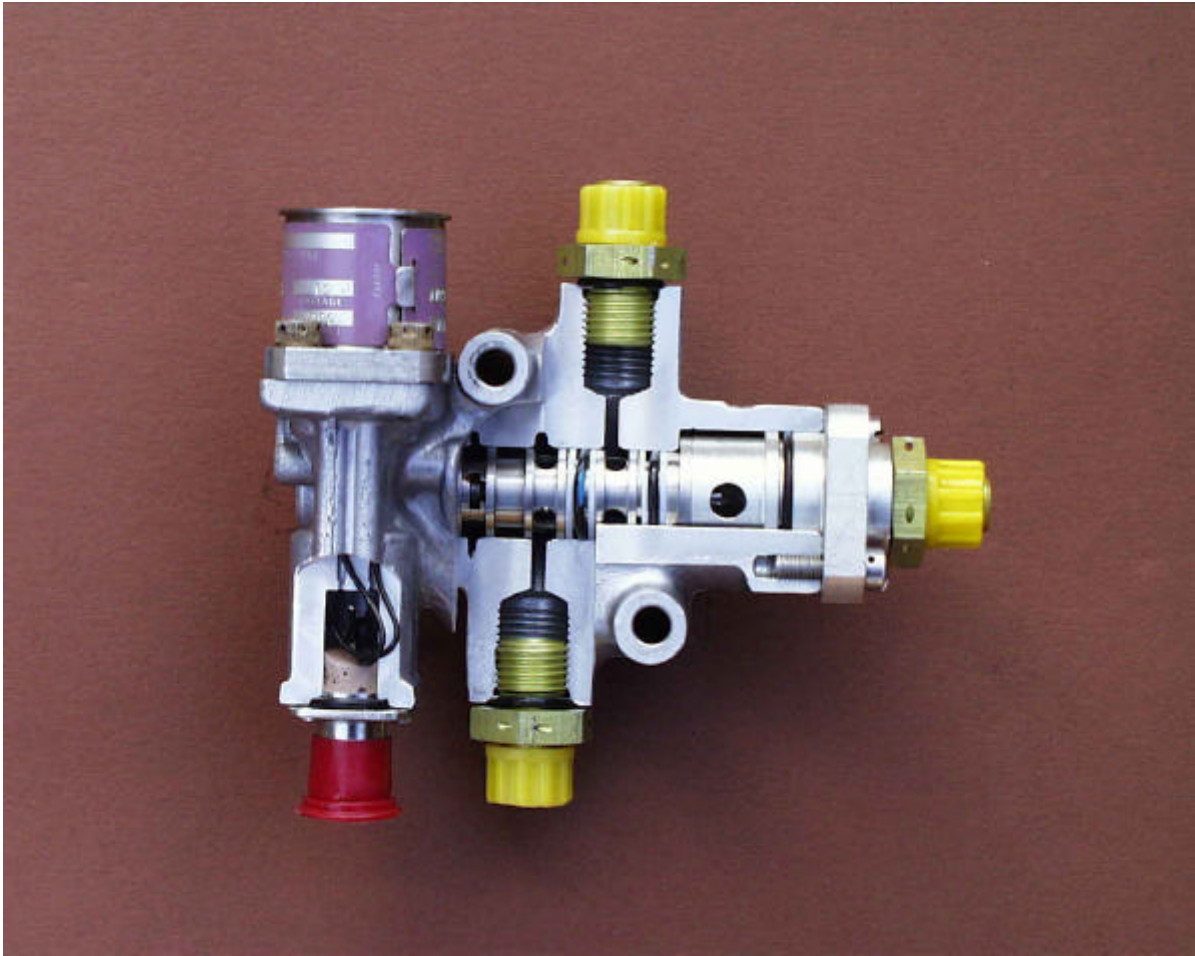


Bild 3.4 3/2 Wege-Absperrventil (Schnittanfertigung)

4 Druckminderventil

4.1 Beschreibung und Funktion des Bauteils

Durch Betätigung des Fahrwerkhebels auf die Position „Ausfahren“ (DN) wird der Hydraulikdruck zur Ausfahrseite der Hauptfahrwerk-Einfahrzylinder durch diese Ventile von 206,85 bar (3000psi) auf 65,502 bar (950 psi) reduziert. Jeweils ein Druckminderventil befindet sich an der Decke des linken und rechten Bugfahrwerkschachtes.

Jedes Ventil besteht aus einem Ventilgehäuse, das einen Gleitkolben und einen Regulierkolben enthält. Das Ventilgehäuse enthält einen Druckeinlaß, einen Auslass zum Hauptfahrwerk-Einfahrzylinder und einen Rücklaufauslass. Eine Feder, die durch zwei Führungen gehalten wird, übt Druck auf den Gleitkolben aus. Eine Einstellschraube dient zur Einstellung des Auslaßdrucks. Ein Überdruckventil befindet sich zwischen dem Druckeinlaß und dem Auslaß zum Einfahrzylinder.

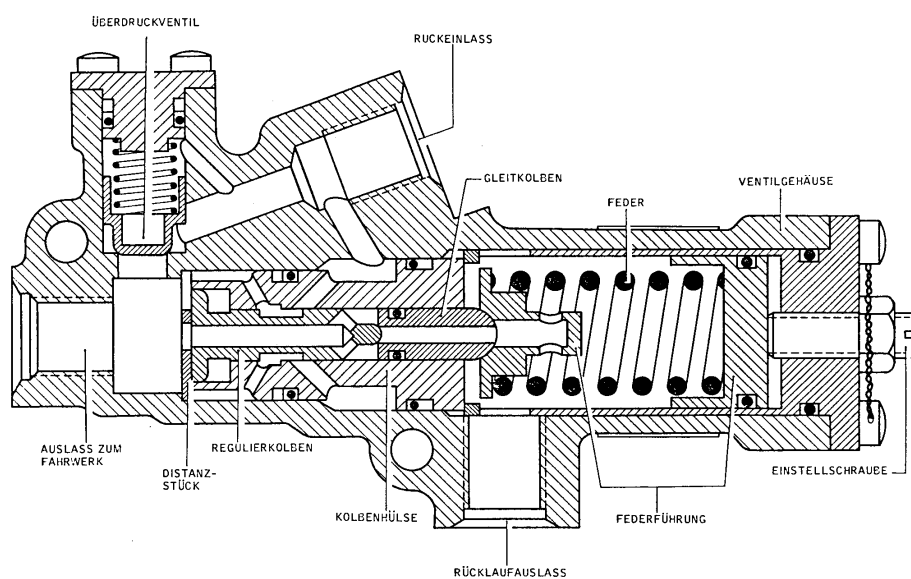


Bild 4.1 Druckminderventil (Schnittdarstellung)

Arbeitsweise

Hydraulikflüssigkeit strömt unter Anlagendruck durch den Druckeinlaß, schließt das Überdruckventil und gelangt durch Bohrungen in der Kolbenhülse in die Kolbenkammer. Wenn der verminderte Druck auf 65,502 bar (950 psi) ansteigt, wird der Gleitkolben gegen den Federdruck nach rechts bewegt und reguliert den Druck.

Falls der Druck am Auslaß für den reduzierten Druck weiter ansteigt, wird eine stärkere Kraft erzeugt, die den Sitz des Gleitkolbens vom kugelförmigen Ende des Regulierkolbens abhebt, wodurch der überschüssige Druck zum Rücklaufauslaß abgeleitet wird. Der Kopf am linken Ende des Regulierkolbens dient als Dämpfer, um den Regulierkolben zu stabilisieren. Das danebenliegende Distanzstück hat eine sternförmige Außenkontur, um den Durchfluß an den Außenkanten zu ermöglichen.

Das Überdruckventil verhindert, dass Hydraulikflüssigkeit unter maximalem Einlaßdruck zum Fahrwerk gelangt.

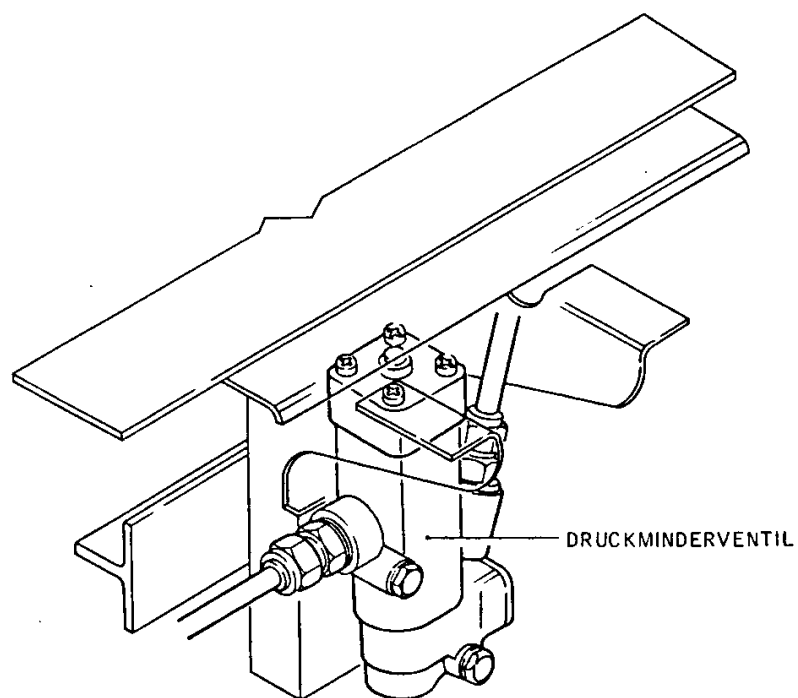


Bild 4.2 Ventil-Einbau im Fahrwerksschacht

4.2 Schnitthanfertigung

Auch bei diesem Bauteil werden zuerst die inneren, gehärteten Bauteile ausgebaut. Hier ist ebenfalls das Problem, dass sich das Gussteil nicht auseinander nehmen lässt und in sofern der Ausbau einige Probleme bereitet.

Beim Fräsen ist zu beachten, dass die einzelnen Bohrungen nicht alle den selben Durchmesser haben. Das führt dazu, dass die Bereiche der Anschlussstutzen tiefer eingefräst werden müssen um überhaupt sichtbar gemacht werden zu können. Entlang der Achse darf wiederum nicht so tief gefräst werden, da die Bauteile sonst aus ihrer Führung springen würden.

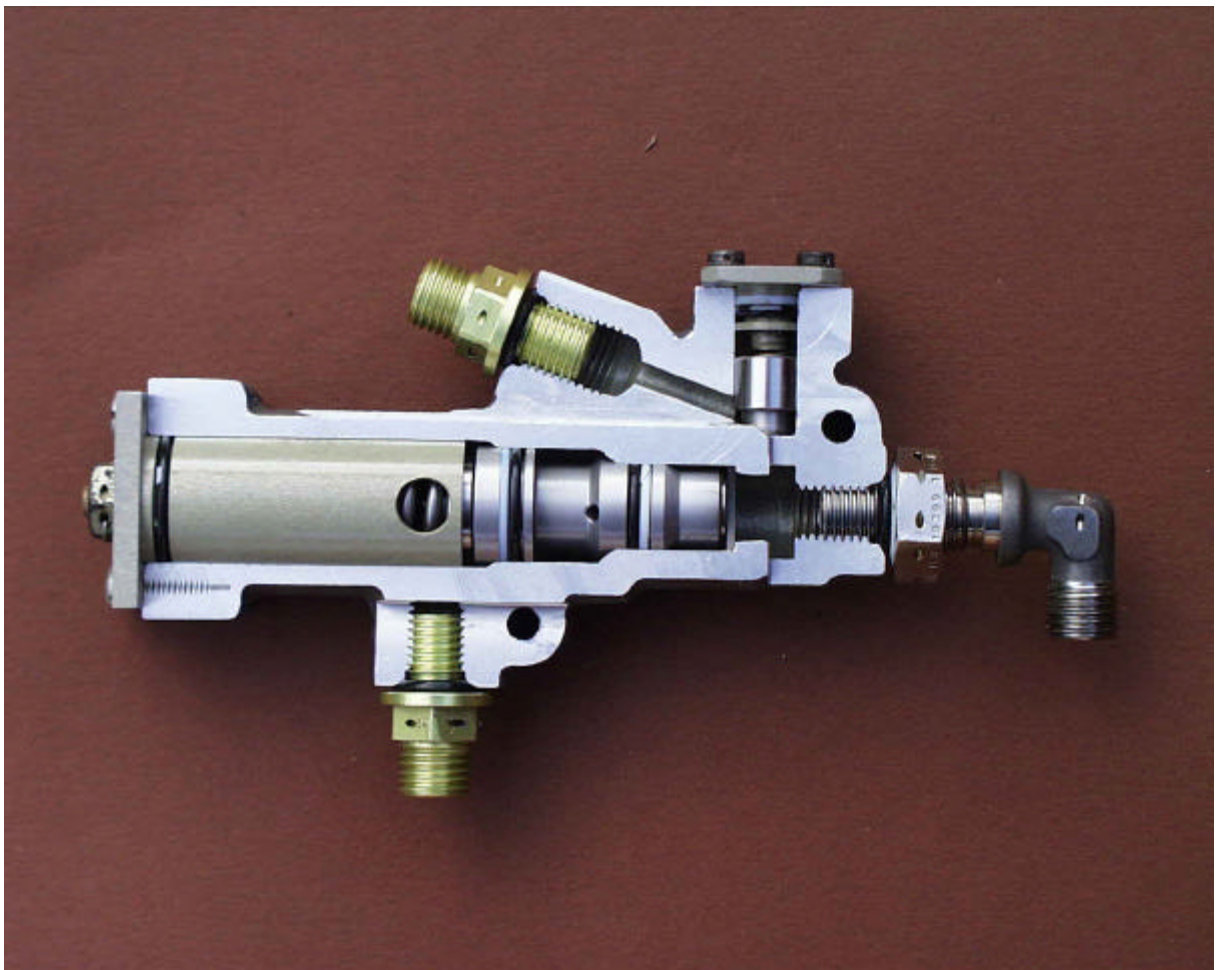


Bild 4.3 Druckminderventil (Schnittdarstellung)

5 Seitenruderstellmotor

5.1 Beschreibung und Funktion des Bauteils

Der Seitenruderstellmotor ist ein Hydraulikzylinder mit beweglichem Gehäuse, wobei die Kolbenstange in der Seitenflossenstruktur verankert und das Gehäuse mit der Steuerruderkupplung verbunden ist; der Hydraulikzylinder betätigt das Seitenruder.

Der Stellmotor enthält ein Servoventil, ein Vorsteuerventil, ein Absperrventil, ein Umgehungsventil, einen Positionsschalter, ein Antiblockierventil und einen Kraftsimulator. Gegen einfallende Fremdkörper ist der Servoventil-Eingangshebel mit einem Schutzblech abgedeckt.

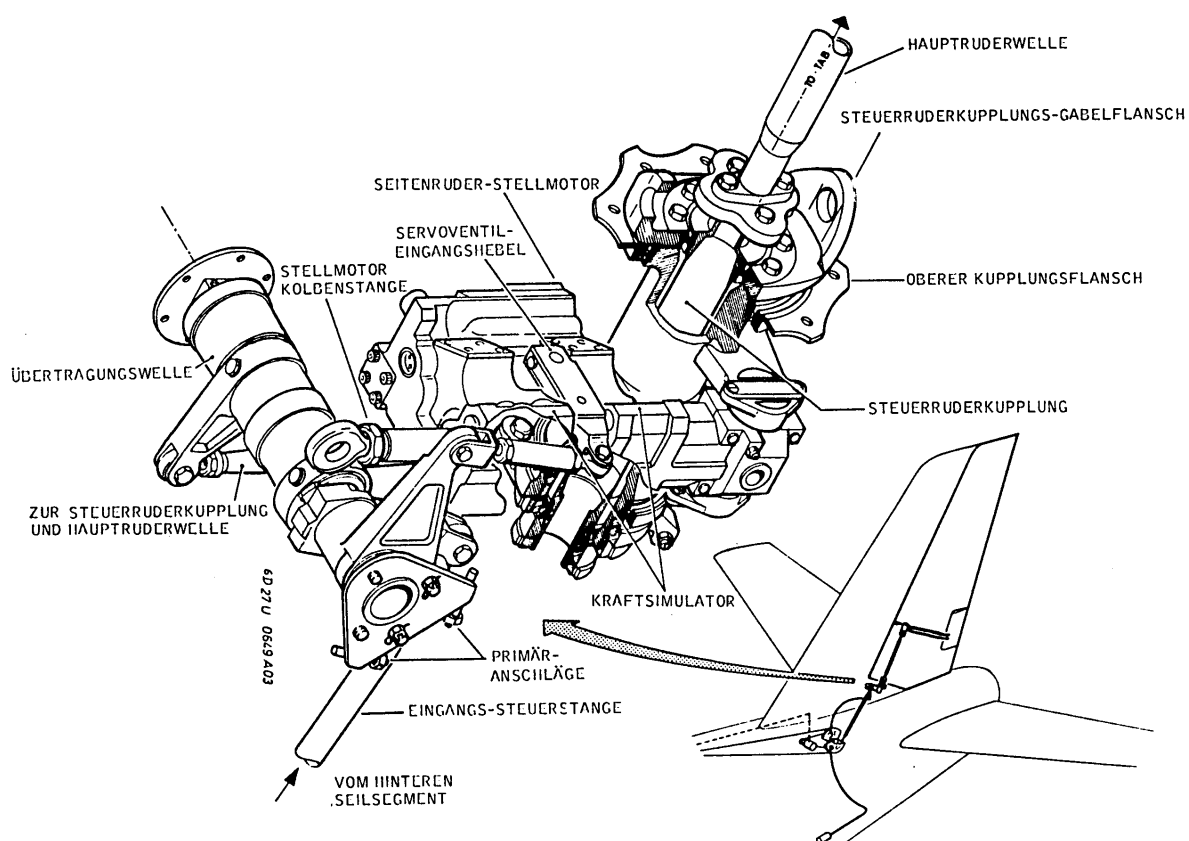


Bild 5.1 Einbau des Seitenruderstellmotors im Heck

Bei druckloser Anlage hält die Federkraft das Vorsteuerventil und das Umgehungsventil in geöffneter und das Absperrventil in geschlossener Stellung. Wird die Betätigung des Stellmotors angewählt, fließt Hydraulikdruck durch das Vorsteuerventil, öffnet über ein Drosselventil das Absperrventil und schließt das Umgehungsventil. Durch ein Drosselventil baut sich Hydraulikdruck auf, der das Vorsteuerventil schließt. Die Hydraulikversorgung wird zum Servoventil geführt, wird jedoch vom anliegenden Kolben des Servoventils zurückgehalten. Die Seitenruderstelleingabe bewegt den anliegenden Kolben, der eine Druckleitung zu der gewünschten Seite des Zylinderkolbens öffnet und führt die andere Seite über einen Durchflussregler zur Rückleitung. Der Hydraulikdruck verdrängt das Zylindergehäuse an der befestigten Kolbenstange entlang, so dass das Seitenruder in die gewünschte Richtung bewegt wird, bis sich das bewegende Zylindergehäuse den Kolben des Servoventils in Nullstellung bringt.

Im Stellmotor befindliche Anschläge begrenzen den Hub des Servoventils. Der Durchflussregler dämpft die Seitenrudergeschwindigkeit bei drucklosem Stellmotor am Boden. Wenn das Seitenruder bis zu den äußersten Punkten, das heißt den Primäranschlügen auf der Übertragungswelle, betätigt wird, begrenzt die Kolbenstange zusätzlich den normalen Hydraulikrückfluss im letzten Teil des Ausfahrweges. Der Flüssigkeitsverdrängungssatz wird dann begrenzt, und die letzten Grade des Seitenruderausfahrweges werden gedämpft. Dies verhindert ein Nachlaufen des Seitenruders. Diese Vorkehrung wirkt auch als Böendämpfer, wenn das Flugzeug abgestellt ist.

Das Antiblockierventil befindet sich auf der Kolbenstange des Servoventils. Das Ventil wird durch eine Zentrierfeder auf jeder Seite des Ventilgehäuses in geschlossener Stellung gehalten. Die Steuereingabe wird über den Eingangshebel, der mit dem Ventilgehäuse verbunden ist, an das Servoventil übertragen. Wenn sich der Servoventilkolben in geöffneter Stellung festsetzt, läuft das Seitenruder weg. Die vom Piloten zur Verhinderung des Weglaufens aufgebrauchten Kräfte drücken eine der Servoventilzentrierfedern zusammen, und das Ventilgehäuse bewegt sich, um den Ventilauslaß zu öffnen und den Zylinderbetätigungsdruck an die Rückleitung anzuschließen, wodurch der Stellmotor drucklos gemacht und das Umgehungsventil geöffnet wird. Die Luftkräfte des Seitenruders bringen dann das Seitenruder in die strakbündige Position zurück; es ist erforderlich, auf die manuelle Seitenrudersteuerung umzuschalten.

Der Kraftsimulator enthält zwei Kolben, die jeweils in je eine Richtung gegen das mechanische Gestänge wirken. Jeder Kolben wird vom Seitenruderbetätigungsdruck bewegt. Wenn der Betätigungsdruck mit der Gradzahl des gewählten Ruderausschlages steigt, überträgt der zugehörige Kraftkolben eine proportionale Kraft auf die Steuerung, um der gewählten Seitenruderbewegung entgegenzuwirken, so dass künstliche Steuerkräfte entstehen.

Bei Betätigung des Stellmotors befindet sich das Umgehungsventil in geschlossener Stellung; es ist geöffnet, wenn der Hydraulikdruck unter 1000 ... 1140 psi (68,5 ... 78 bar) fällt (entweder durch einen Ausfall oder durch fehlerhafte Stellmotoreingabe). In geöffneter Stellung verbindet das Umgehungsventil die beiden Seiten des Kolbens und macht die kreuzweise Weiterleitung der Hydraulikflüssigkeit möglich, wenn die manuelle Betriebsart gewählt wurde.

Ein Positionsschalter zeigt die Stellung des Umgehungsventils an. Wenn das Umgehungsventil geöffnet ist, schließt der Schalter und 28V von der Vorrang-Gleichstromsammelschiene versorgen das Achtungsleuchtfeld „RUD“ der Warnanlage.

5.2 Schnitthanfertigung

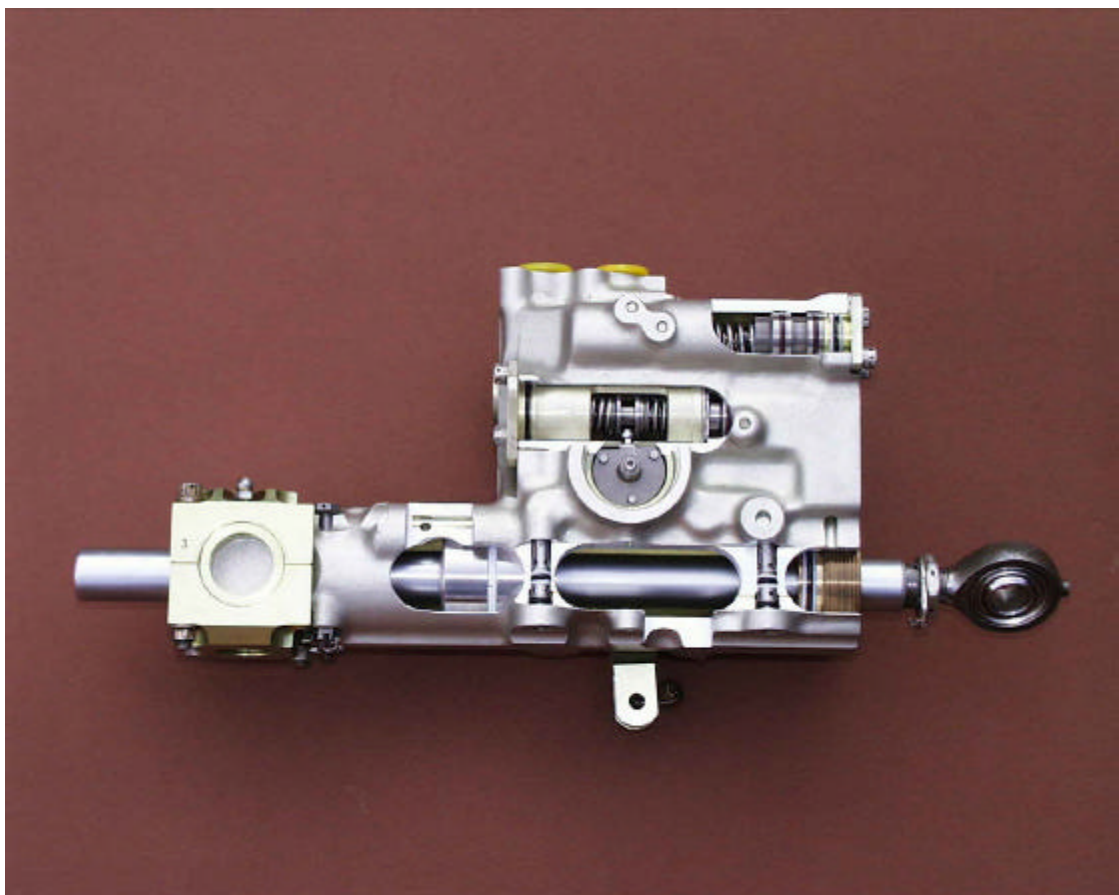


Bild 5.2 Seitenruderstellmotor (Schnitt: Steuerkolben)

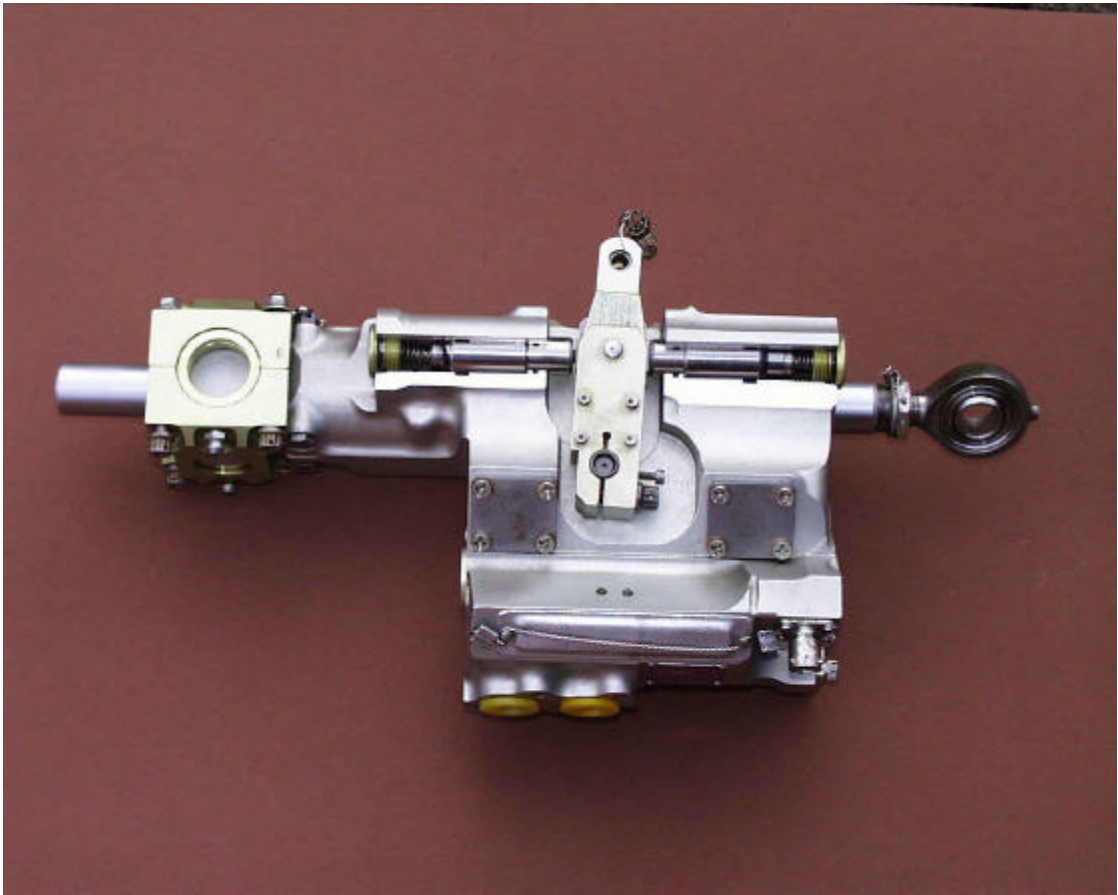


Bild 5.3 Seitenruderstellmotor (Schnitt: Kraftsimulator)

6 Vorratsbehälter

6.1 Beschreibung und Funktion des Bauteils

Der im linken Hauptfahrwerkschacht eingebaute Vorratsbehälter (bootstrap reservior) ist mit zwei Spannbändern befestigt und besteht aus einem Hochdruck (HD)- und einem Niederdruck (ND)- Zylinder. Jeder Zylinder enthält einen Kolben. Die Kolben sind mechanisch miteinander verbunden. Der HD- Kolben hat eine kleinere Fläche als der ND-Kolben. Das Verhältnis

der Kolbenflächen ist 1:24. Der Anlagen- oder Druckspeicherdruck gelangt zum HD-Zylinder (3000 psi) und drückt mit der Oberfläche des kleinen Kolbens. Aufgrund der mechanischen Verbindung der Kolben gelangt diese Kraft ebenfalls auf die Fläche des großen Kolbens. Jetzt steht die Flüssigkeit im ND-Zylinder unter 125 psi (8,62 bar) Druck vom ND-

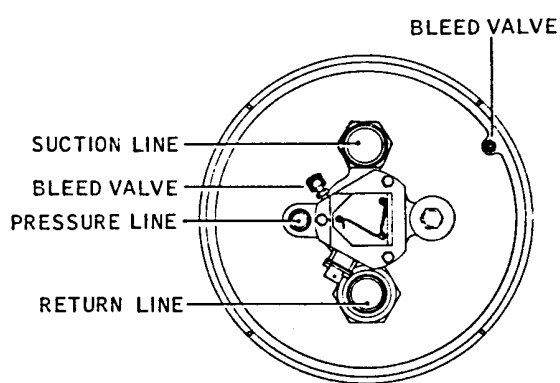


Bild 6.1 Hydraulik-Anschlüsse und Überdruckventil

Kolben und stellt damit einen ausreichenden Versorgungsdruck auf der Einlaßseite der triebwerkgetriebenen Hydraulikpumpe und der Transfereinheit sicher. Normalerweise ist der Druck nur etwa 50 bis 80 psi stark. Bei der VFW 614 liegt er bei 125 psi da die Triebwerkspumpe über dem Flügel liegt und damit viel höher als das Reservoir liegt. Der ND-Zylinder ist über seine Endkappe und den eingebauten Filter zur Atmosphäre hin geöffnet. Dies verhindert einen Lufteinschluß aufgrund einer Kolbenverdrängung.

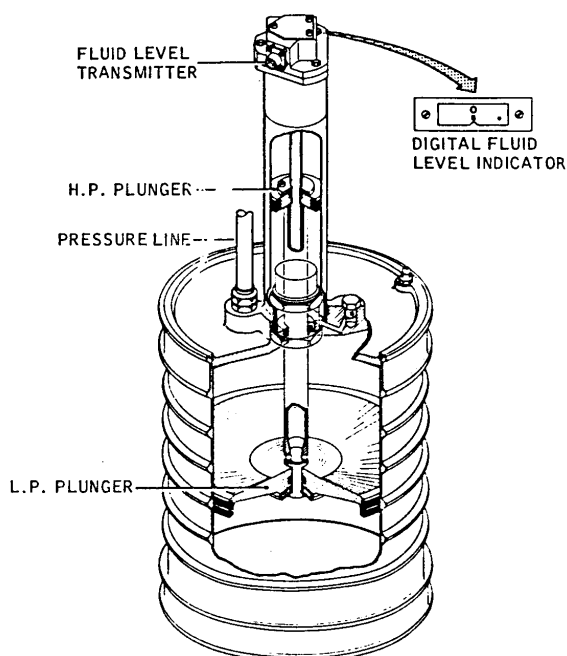


Bild 6.2 Vorratsbehälter (Schnittdarstellung)

In der rohrförmigen Kolbenstange sitzt ein Rohr mit spiralförmiger Nut. Der HD- Kolben besitzt eine Mutter, an der ein an die Spiralnut eingreifender Stift befestigt ist. Bei Bewegung des Kolbens dreht der Stift das Spiralrohr um 270° (von leer bis voll). Oben am Rohr ist ein Potentiometer eingebaut, der eine Sichtanzeige des Vorratsbehälterinhalts auf einem Schauglas und eine Meßgeräteanzeige auf der Hydraulikbedientafel im Cockpit ermöglicht.

In der oberen Endkappe befinden sich drei Anschlüsse für die Saug-, Druck- und Rücklaufleitungen. Zusätzlich sind zwei Entlüftungsventile vorgesehen, die beide auf der ND-Seite des Vorratsbehälters angebracht sind. Das ausgestellte Bootstrap Reservoir hat noch ein Lochblech um den Niederdruckteil. Dieses dient zur Wärmeabfuhr. Ein weiteres Flugzeug in das solch ein Reservoir eingebaut ist, ist die Lockheed L1011 Tri Star. Einbauort: im linken Hauptfahrwerkschacht.

6.2 Schnitthanfertigung

Die einfache Bauweise des Behälters macht die Erstellung eines Schnittmodelles relativ leicht. Nur die Demontage gestaltete sich aufgrund des festen Sitzes des Niederdruckkolbens nicht so einfach. Das große Sichtfenster wurde mit einer Stichsäge herausgetrennt und anschließend ausgefeilt. Der Schnitt in der Führung des Hochdruckkolbens wurde mit einem Schaftfräser durchgeführt.

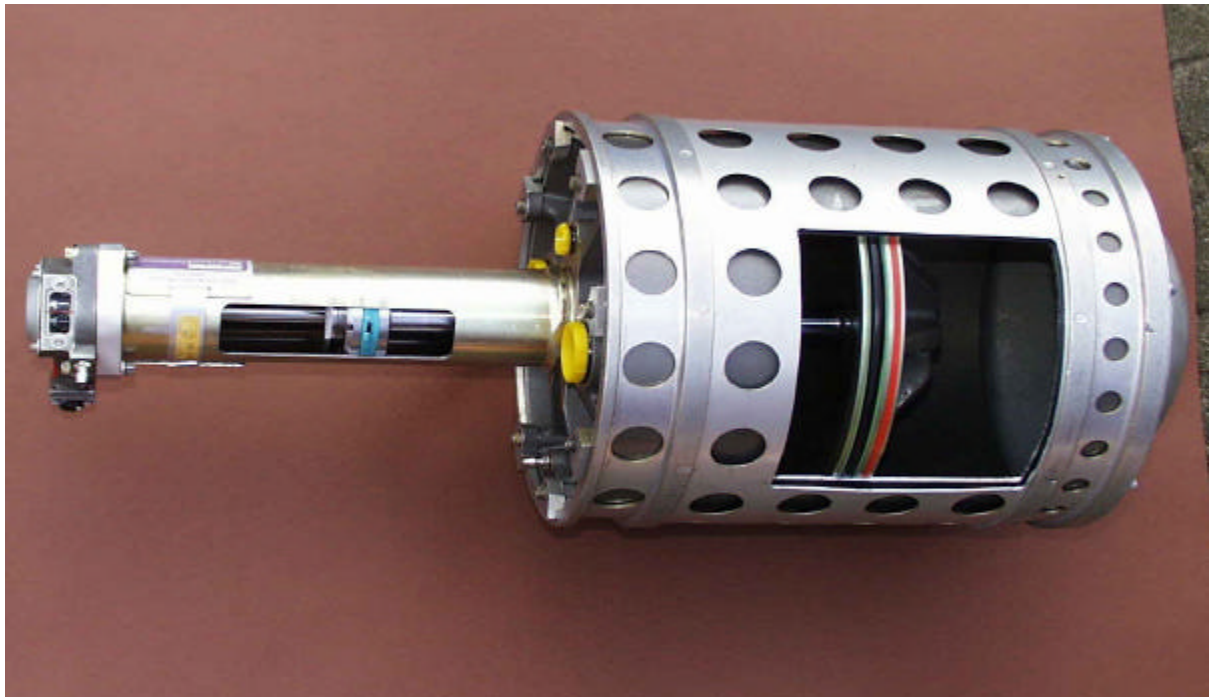


Bild 6.3 Vorratsbehälter (Schnitthanfertigung)

7 Auslegung einer Hydraulikpumpe

7.1 Aufgabenstellung

Um den wissenschaftlichen Aspekt der Arbeit zu verstärken, soll die Auslegung einer triebwerksgetriebenen Hydraulikpumpe für eine VFW 614 durchgeführt werden. Es wird dabei von dem Ausfall der Hydraulikpumpe in Kreis II ausgegangen. Dies hat zur Folge, dass Hydraulikkreis II ebenfalls von Pumpe I bedient werden muß. Nur so kann eine realistische Auslegung der Pumpe erfolgen.

7.2 Einsatz und Arbeitsweise der Pumpe

Es handelt sich bei dieser Pumpe um eine einfache Axialkolbenpumpe in Schrägscheibenbauart. In der VFW 614 wird diese Pumpe benutzt um in dem Hydraulikkreislauf einen Druck von 3000 psi (206,85 bar) aufzubauen. Jeder der beiden unabhängigen Hydraulikkreise wird durch eine solche Pumpe mit Druck versorgt.

Diese Pumpen werden über Getriebe an die Triebwerke angeschlossen und angetrieben. Jeweils ein Triebwerk treibt eine Pumpe an und versorgt somit einen Hydraulikkreislauf mit Druck. Fällt ein Triebwerk bzw. eine der beiden Pumpen aus, so übernimmt eine vom jeweils anderen Kreislauf angetriebene Hydraulikpumpe (Power Transfer Unit) die Druckversorgung des gestörten Kreislaufes.

Aufbau und Funktionsweise der Pumpe sollen an nebenstehender Zeichnungen verdeutlicht werden.

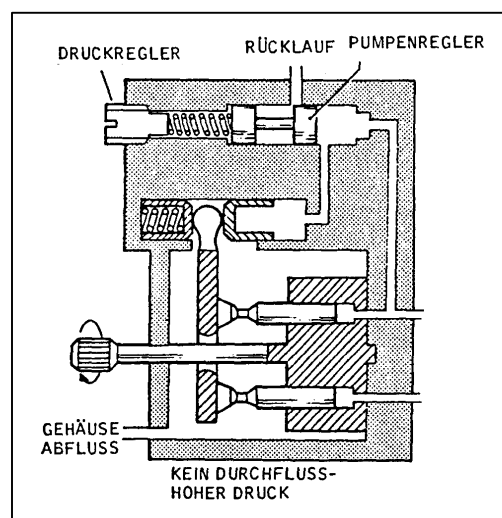
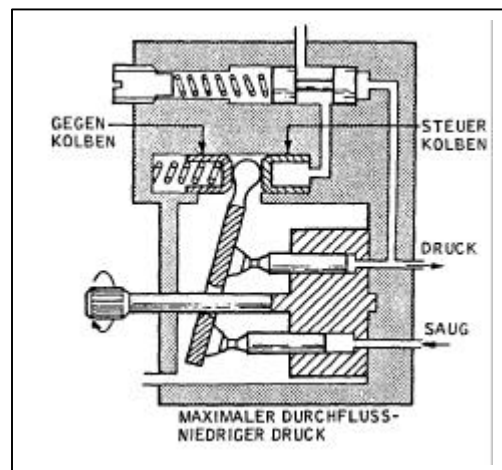


Bild 7.1 / 7.2 Hydraulikpumpe Funktionsschema

7.3 Bestimmung des maximalen Verbrauchs

Zur Bestimmung des maximalen Verbrauchs an Hydraulikflüssigkeit ist zuerst zu bestimmen, welche Hydraulikverbraucher im System vorhanden sind. Anhand der Stellgeschwindigkeiten und den physischen Abmaßen lässt sich dann für jeden Systemkomponente der Verbrauch berechnen. Zusätzlich ist zu betrachten, bei welchen Manövern welche Verbraucher gleichzeitig gefahren werden. Das Manöver, bei dem sich der größte Gesamtverbrauch ergibt, ist dann dimensionierend.

Aufgrund der Annahme, dass Hydraulikkreislauf II über die PTU bedient wird, werden die Komponenten aus Kreislauf II nicht berücksichtigt, da sie über den Verbrauch der PTU abgedeckt sind.

Es folgt die Aufzählung der einzelnen Verbraucher in Kreislauf I und II.

Kreislauf I:

- Triebwerkgetriebene Hydraulikpumpe I + Vorratsbehälter
- Seitenruder
- Höhenruder links
- Landeklappen
- Transfereinheit (PTU)
- 2 x Bodenbremsklappe II
- 2 x Flugbremsklappe
- Fahrwerk vorn
- Fahrwerk hinten
- Hauptbremsanlage I
- Bugradlenkung

Kreislauf II:

- Triebwerkgetriebene Hydraulikpumpe II (ausgefallen)
- Höhenruder rechts
- Landeklappen
- Transfereinheit (PTU)
- 4 x Bodenbremsklappe (jeweils I + III)
- Notbremsanlage I

Bei der Auslegung der Verbräuche haben wir versucht die Kolbenvolumina so genau wie möglich zu bestimmen. Leider waren, ähnlich wie auch bei den Stellgeschwindigkeiten und maximalen Ausschlägen, die Angaben des Handbuches sehr spärlich. Sie mussten des öfteren durch spekulative Annahmen bzw. über bekannte Werte aus dem Airbus-Programm abgeschätzt werden.

Seitenruder:

Aufgrund von Kolbendurchmesser und maximalem Kolbenhub ergibt sich ein Kolbenvolumen von ca. $V = 50\,000\text{ mm}^3$. Wenn man von einem maximal möglichen Ruderausschlag von 30° ausgeht und eine Stellgeschwindigkeit von $20^\circ/\text{s}$ ansetzt, so ergibt sich ein maximaler Durchfluss von $Q = 33\,333\text{ mm}^3/\text{s}$.

Da dieser Wert sicher nicht den normalen Flugfall charakterisiert, wurde der Wert auf $Q = 33\,000\text{ mm}^3/\text{s}$ abgerundet.

Höhenruder links:

Der Höhenruderstellmotor arbeitet nach dem selben Prinzip wie der Seitenruderstellmotor, d.h. der Kolben ist an der Struktur befestigt, während das Gehäuse mit der Ruderanlenkung verbunden ist und sich entlang des Kolbens bewegen kann.

Das bedeutet, dass eine halbe Kolbenlänge die jeweilige Neutralstellung auszeichnet. Dies hat den Vorteil, dass für einen maximalen Ausschlag nur die Hälfte an Hydraulikflüssigkeit gebraucht wird. Der Nachteil ist die kompliziertere Steuerung, da gleichzeitig auf der anderen Kolbenseite das Volumen verkleinert bzw. die Flüssigkeit rausgepresst wird.

Da weder Steuerkräfte, maximale Steuerausschläge oder -zeiten bekannt waren, sind wir von einem Anstellmotor ausgegangen, der dem Seitenruderanstellmotor gleicht.

Wir gehen also auch hier von einem maximalen Durchfluss von $Q = 33\,000\text{ mm}^3/\text{s}$ bei einer Stellgeschwindigkeit von $20^\circ/\text{s}$ aus.

Landeklappen:

Die Landeklappenantriebseinheit besteht aus zwei Hydraulikmotoren. Sie wird von Hydraulikkreislauf I bedient, und zwar in der Weise, dass nur ein Motor aktiv ist und der zweite Motor leer mitläuft. Fällt Kreislauf I aus, so wird automatisch der zweite Motor, welcher Kreislauf II zugeordnet ist, aktiviert. In diesem Fall geht Motor I in den Leerlauf.

Das volle Ausfahren der Landklappen dauert ca. $t = 24-30$ s, wobei nach 77 % des Ausfahrweges der Hydraulikfluss und damit die Ausfahrgeschwindigkeit verringert wird. Diese Verringerung wurde aufgrund ungenügender Information in der Bestimmung des maximalen Durchflusses vernachlässigt.

Die Berechnung des Hydraulikmotors erfolgte mit realistischen, aber geschätzten Werten:

Drehzahl $n = 3000$ U/min

Kolbenanzahl $z = 9$

Kolbendurchmesser $d_K = 15$ mm

Zylinderdurchmesser $R = 120$ mm

Taumelscheibenanstellwinkel $b = 25^\circ$

Damit ergibt sich aus der Formel für den geometrischen Volumenstrom einer Axialkolbenpumpe:

$$Q_g = n \cdot z \cdot \frac{\delta \cdot d_K^2}{2} \cdot R \cdot \tan b \quad (7.1)$$

$$Q_g = 3000 \frac{\text{U}}{\text{min}} \cdot 9 \cdot \frac{\delta \cdot (15 \text{ mm})^2}{2} \cdot 120 \text{ mm} \cdot \tan(25^\circ)$$

$$Q_g = 9000 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}$$

Transfereinheit:

Die Transfereinheit, auch Power Transfer Unit (PTU) genannt, besteht ebenfalls aus zwei Hydraulikmotoren. Sie sitzt als Verbindung zwischen Hydraulikkreislauf I und II, wobei allerdings keine Flüssigkeit zwischen den Kreisläufen übertragen wird.

Aufgrund der einfachen Bauweise einer Axialkolbenpumpe kann diese je nach Durchflussrichtung sowohl als Motor, wie auch als Pumpe eingesetzt werden. Dies macht man sich zunutze, indem man die beiden Hydraulikmotoren / -pumpen koppelt.

Da jede Pumpe einem der beiden Kreisläufe zugeordnet ist, können beide von ihrem Kreislauf sowohl als Pumpe oder als Motor benutzt werden. Bei Ausfall einer der triebwerkgetriebenen Hydraulikpumpen ersetzt dann die PTU diese Pumpe indem sie vom intakten Kreislauf als Motor angetrieben wird.

Über die Auslegung der PTU ist nur bekannt, dass sie den Kreislauf mit der ausgefallenen Pumpe mit einem Druck von 2550 psi (175,8 bar) versorgen muss. Wir sind daher von derselben Pumpe ausgegangen, welche auch für den Landeklappenantrieb eingesetzt wird. Wir übernehmen den Wert für den maximalen Durchfluss $Q = 9000 \text{ mm}^3/\text{s}$.

Boden-, und Flugbremsklappen:

Hydraulikkreislauf I bedient für jede Tragfläche die Flugbremsklappe und die Bodenbremsklappe II. Bodenbremsklappe I +III werden jeweils von Kreislauf II übernommen. Das Stellen der Klappen erfolgt jeweils über einen Hydraulikkolben, wobei die maximale Ausfahrlänge der Kolben dem maximalen Klappenausschlag entspricht. Der Verriegelungszyylinder, der ein versehentliches Ausfahren der Bremsklappen verhindern soll wird ebenfalls hydraulisch betätigt. Aufgrund seiner geringen Größe wird er jedoch bei der Berechnung vernachlässigt.

Wir haben als Stellzeit der Klappen $t = 1 \text{ s}$ gewählt. Über die geschätzte Kolbenlänge $l = 150 \text{ mm}$ und den geschätzten Kolbendurchmesser $d = 50 \text{ mm}$ wird dann das Kolbenvolumen ausgerechnet. Damit ergibt sich über die Stellzeit ein maximaler Durchfluss von $Q = 294\,524 \text{ mm}^3/\text{s}$.

Bug- und Hauptfahrwerk:

Auch hier werden die hydraulischen Verriegelungszyylinder vernachlässigt. Bei der Berechnung des Bugfahrwerkes ist zu beachten, dass die Fahrwerksklappen über zwei extra Zylinder betätigt werden. Bei dem Hauptfahrwerk sind die Fahrwerksklappen an den rechten und linken Fahrwerkszylinder gekoppelt und öffnen gleichzeitig.

Für das Hauptfahrwerk wurde als Stellzeit $t = 7 \text{ s}$ gewählt. Bei einem Kolbendurchmesser von $d = 60 \text{ mm}$ und einem maximalen Kolbenhub von $l = 400 \text{ mm}$ ergibt sich ein maximaler Durchfluss von $Q = 161\,567 \text{ mm}^3/\text{s}$ pro Kolben.

Für das Bugfahrwerk wurde als Stellzeit für die Fahrwerksklappen $t = 4 \text{ s}$ gewählt. Bei einem Kolbendurchmesser von $d = 20 \text{ mm}$ und einem maximalen Kolbenhub von $l = 400 \text{ mm}$ ergibt sich ein maximaler Durchfluss von ca. $Q = 30\,000 \text{ mm}^3/\text{s}$ pro Kolben. Das Fahrwerk selber wird über einen Hebelmechanismus durch einen sehr kurzen Kolben ein-, und ausgefahren.

Als Stellzeit wurde $t = 7$ s gewählt. Der Kolbendurchmesser ist ca. $d = 40$ mm und seine Länge beträgt ca. $l = 200$ mm. Damit ergibt sich $Q = 35\,904$ mm³/s.

Hauptbremsanlage:

Das Flugzeug wird nur über die Bremsen des Hauptfahrwerks abgebremst. Dieses besteht aus mehreren Bremsscheiben, die nebeneinander beweglich auf der Radachse angeordnet sind. Jede dritte dieser Scheiben ist mit der Achse verbunden, während die anderen fest stehen. Mit Hilfe von Bremszylindern wird dieses Bremsscheibenpaket dann zusammengedrückt. Die auftretende Reibung bewirkt den Kraftschluss zwischen den drehenden und stehenden Scheiben und somit die Bremsung.

Jedes der vier Räder besitzt so eine Bremseinheit. Jede Einheit besteht aus 12 Bremszylindern von denen je sechs zum Haupt- und sechs zum Notbremssystem gehören. Bei der Berechnung des maximalen Durchflusses müssen also 24 Bremszylinder berücksichtigt werden.

Der Zylinderdurchmesser wird mit $d = 30$ mm und der Zylinderhub mit $l = 10$ mm angenommen. Die Stellzeit möge $t = 1$ s betragen. Es ergibt sich bei Betätigung des Hauptbremssystems ein maximaler Durchfluss von $Q = 169\,646$ mm³/s.

Bugradlenkung:

Die Bugradlenkung erfolgt über eine Zahnstange, welche in ein Zahnrad an der Bugradachse eingreift und diese dreht. Die Zahnstange wird von einem Hydraulikzylinder betätigt. Dabei wird der Zylinder so eingesetzt, dass die Mittelstellung des Bugrades auch der Mittelstellung des Kolbens entspricht. Der Kolben kann von beiden Seiten mit Druck beaufschlagt werden und wird dementsprechend in die gewünschte Richtung gedrückt.

Hier wird von einer Stellzeit $t = 5$ s ausgegangen. Die Abmaße des Kolbens seien $d = 50$ mm und $l = 60$ mm. Der maximale Durchfluss errechnet sich demnach zu $Q = 23\,562$ mm³/s.

Damit ist die Berechnung der maximalen Durchflüsse abgeschlossen. Es folgt die Berechnung des maximalen Gesamtverbrauchs von Hydraulikflüssigkeit anhand der auftretenden Flugzeugmanöver.

Wir haben nur ein paar der wichtigsten Manöver aufgelistet, da von vornherein abzusehen war, welches Manöver am meisten Anforderungen an das Hydrauliksystem stellen würde. Für den Fall, dass Ruderausschläge nicht den o. g. Werten entsprechen, wurde der Verbrauch anhand der neu angenommenen Werte zurückgerechnet.

Boden (Engine Start, Warmup, Taxi):

• Lenkung	23 562 mm ³ /s
• Bremsen	169 646 mm ³ /s
• PTU	9 000 mm ³ /s
• <u>Landeklappen (Startkonfiguration)</u>	<u>9 000 mm³/s</u>
	Summe = 211 208 mm³/s

Start:

• HLW	33 000 mm ³ /s
• SLW	33 000 mm ³ /s
• <u>PTU</u>	<u>9 000 mm³/s</u>
	Summe = 75 000 mm³/s

Startabbruch:

• Bremsen	169 646 mm ³ /s
• Bremsklappen	2 x 294 524 mm ³ /s
• PTU	9 000 mm ³ /s
• <u>SLW</u>	<u>33 000 mm³/s</u>
	Summe = 800 694 mm³/s

Steigflug:

• HLW	33 000 mm ³ /s
• SLW	33 000 mm ³ /s
• PTU	9 000 mm ³ /s
• Landeklappen (Reiseflugkonfiguration)	9 000 mm ³ /s
• Bugfahrwerk	60 000 + 35 904 mm ³ /s
• <u>Hauptfahrwerk</u>	<u>161 567 mm³/s</u>
	Summe = 341 471 mm³/s

Reiseflug:

- HLW (5°) 33 000 mm³/s
 - SLW (3°) 33 000 mm³/s
 - PTU 9 000 mm³/s
 - Luftklappen 2 x 294 524 mm³/s
- Summe = 664 048 mm³/s**

Landung:

- HLW (5°) 8 000 mm³/s
 - SLW (7°) 11 000 mm³/s
 - PTU 9 000 mm³/s
 - Landeklappen (Landekonfiguration) 9 000 mm³/s
 - Luftklappen 400 000 mm³/s
 - Bugfahrwerksklappen 60 000 mm³/s
 - Hauptfahrwerk 323 134 mm³/s
- Summe = 820 134 mm³/s = 49,2 l/min**

Die nachfolgende Tabelle zeigt die max. vorhandenen Hydraulikdurchflüsse bei verschiedenen Flugzuständen für unterschiedliche Hydraulikpumpen (Engine Driven Pumps). Die Angaben für den Landeanflug zeigen, dass der errechnete Wert realistisch ist.

	speed	flow	flow	flow	flow	flow	flow
	[% N2]	[l/min]	[l/min]	[l/min]	[l/min]	[l/min]	[l/min]
EDP (at 150 bar)							
nominal	100,0	85,0	90,0	95,0	100,0	105,0	110,0
take-off	105,0	89,3	94,5	99,8	105,0	110,3	115,5
flight idle	59,4	50,5	53,5	56,4	59,4	62,4	65,3
landing	59,4	50,5	53,5	56,4	59,4	62,4	65,3
ground idle, taxi	54,0	45,9	48,6	51,3	54,0	56,7	59,4
descent, approach	54,0	45,9	48,6	51,3	54,0	56,7	59,4

Tabelle 7.4 Vergleich EDPs bei verschiedenen Flugzuständen

7.4 Pumpenberechnung

Die Berechnung der triebwerkgetriebenen Hydraulikpumpe erfolgt anhand des vorher errechneten maximalen Hydraulikverbrauches. Mit Formel 7.1 kann eine grobe Abschätzung der einzelnen Pumpenparameter vorgenommen werden. Es wird anschließend versucht, mit diesen Parametern den errechneten Verbrauch zu erreichen, bzw. einzelne Parameter so zu verändern, dass eine Übereinstimmung stattfindet.

Zur Überprüfung der Ergebnisse wird anschließend dieselbe Pumpe mit bekannten Parametern (Drehzahl, Durchfluss) eines Airbus A320 nachgerechnet. Dabei wird eine annähernd gleiche Auslegung beider Pumpen vorausgesetzt.

Es folgt die Abschätzung der Pumpenparameter:

Drehzahl $n = \text{unbekannt}$

Kolbenanzahl $z = 9$

Kolbendurchmesser $d_K = 15 \text{ mm}$

Zylinderdurchmesser $R = 42 \text{ mm}$

Taumelscheibenanstellwinkel $\mathbf{b} = 15^\circ$

Damit ergibt sich nach Umstellen der Formel 7.1 eine Drehzahl von:

$$n = \frac{Q_g}{z \cdot \frac{\delta \cdot d_K^2}{2} \cdot R \cdot \tan \mathbf{b}}$$
$$n = \frac{820134 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}}{9 \cdot \frac{\delta \cdot (15 \text{ mm})^2}{2} \cdot 42 \text{ mm} \cdot \tan(15^\circ)}$$
$$n = 22,91 \frac{\text{U}}{\text{s}} = 1375 \frac{\text{U}}{\text{min}}$$

Nach Angaben von Airbus Industrie für den Airbus A 320 können folgende Werte angenommen werden:

100 % N2 (Turbinendrehzahl): $n = 3\,701 \text{ U/min}$

„Nominal flow“ : $Q = 130 \text{ l/min}$

Diese Drehzahl wird zusammen mit den angenommenen Pumpenparametern in Formel 7.1 eingesetzt. Der sich ergebende Volumenstrom sollte sich bei richtiger Dimensionierung der Pumpe mit dem Airbus-Wert decken.

$$Q_g = 3701 \frac{\text{U}}{\text{min}} \cdot 9 \cdot \frac{\delta \cdot (0,15 \text{ dm})^2}{2} \cdot 0,42 \text{ dm} \cdot \tan(15^\circ)$$

$$Q_g = 132,5 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 2\,208\,333 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}$$

Die fast exakte Übereinstimmung der Werte zeigen, dass die Pumpe richtig dimensioniert wurde.

Diese Angaben beziehen sich auf die Turbinendrehzahl N2 = 100 %. Der maximale Hydraulikverbrauch wurde aber für den Landefall ermittelt. In diesem Fall ist mit einer herabgesetzten Turbinendrehzahl zu rechnen (N2 \approx 40-50%). Diese Drehzahl liegt im Bereich zwischen 1400 und 1900 U/min. Der Vergleich mit der Drehzahl $n = 1375 \text{ U/min}$, die sich aus dem maximalen Verbrauch errechnet zeigt, dass die von uns angenommenen Werte realistisch sind.

Damit ist die Auslegung der Pumpe abgeschlossen.

8 Literaturverzeichnis

- Airbus 1991** DEUTSCHE AIRBUS (Hrsg): *Technical Note – ATA 29, hydraulic load analysis*. Hamburg : Deutsche Airbus, 1991
- Engelhardt 1996** ENGELHARDT, J.: *Computergestützte Berechnung von hydraulischen Netzen in Passagierflugzeugen (Studienarbeit)*. Hamburg : Technische Universität Hamburg-Harburg, 1996
- Ivantysyn 1993** IVANTYSYN, R.; IVANTYSYNOVA, M.: *Hydrostatische Pumpen und Motoren – Konstruktion und Berechnung*. Würzburg : Vogel, 1993
- Scholz 1999** SCHOLZ, D. (Hrsg): *Flugzeugentwurf : Skript zur Vorlesung im SS 1999*. Hamburg : Fachhochschule Hamburg, 1999
- VFW 79** VEREINIGTE FLUGTECHNISCHE WERKE FOKKER GMBH (Hrsg): *Schulungshandbuch VFW 614, Mechanik*. Bremen 1979