

8 Hydraulikversorgung

Hydraulic Power, ATA 29

8.1 Definition

Die Einheiten und Komponenten (Pumpen, Regler, Leitungen, Ventile usw.), die Hydraulikflüssigkeit unter Druck bereitstellen an einem gemeinsamen Punkt (Verteilerblock) zur weiteren Nutzung durch andere definierte Systeme. (ATA 100)

8.2 Allgemeines

Aufgabe der Hydrauliksysteme ist, den Piloten bei mechanischen Aufgaben zu unterstützen. Oft wäre es für den Piloten unpraktisch oder unmöglich die geforderten Kräfte aufzubringen. Bei kleineren Flugzeugen werden die Steuerflächen noch durch die Muskelkraft des Piloten bewegt. Bei größeren und schnelleren Flugzeugen ist dies unmöglich und so kommt es zum Einsatz der Hydraulik. Ein Totalausfall der Flugsteuerung wäre eine Katastrophe. Demzufolge muss dafür gesorgt werden, dass ein Ausfall der Hydraulikversorgung sehr unwahrscheinlich ist. Die verlangte Sicherheit wird durch Redundanz (gegenseitige Absicherung) von drei oder sogar vier voneinander unabhängigen Hydrauliksystemen erreicht.

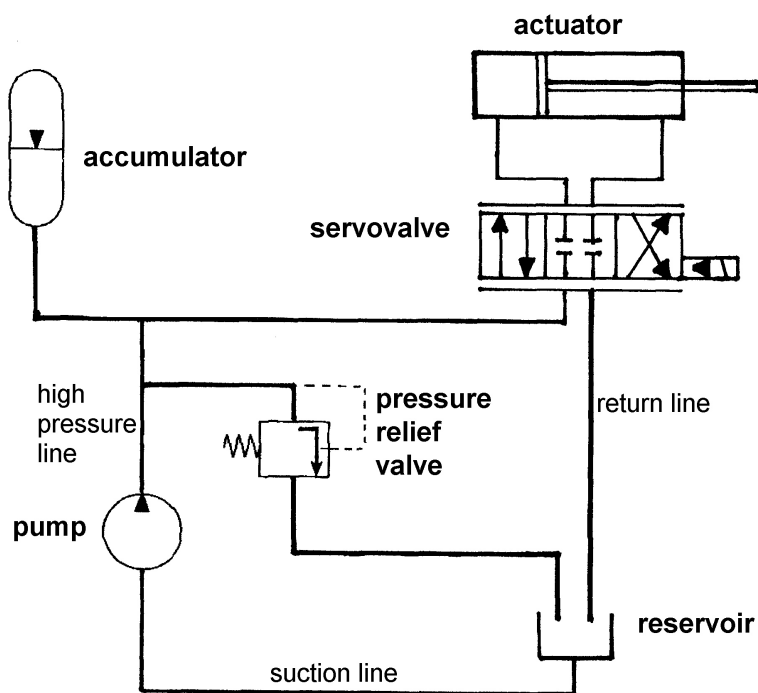


Bild 8.1 Das Grundprinzip eines Hydrauliksystems

8.3 Wirkungsweise

Bild 8.1 zeigt die **Wirkungsweise eines Hydrauliksystems**. Ein *Druckbehälter* auch *Reservoir* (reservoir) genannt, enthält den Vorrat an Hydraulikflüssigkeit. Über eine Saugleitung (suction line) saugt eine Pumpe die Hydraulikflüssigkeit vom Behälter an und bringt sie auf einen höheren Druck. Die heutigen Flugzeughydrauliksysteme sind für den typischen Nenndruck von 206 bar (3000 psi) ausgelegt, der Trend geht zu einem höheren Systemdruck nämlich 345 bar (5000 psi). Ein hydraulischer *Akkumulator* (accumulator) oder Druckspeicher dient nur als temporärer Speicher (im Bereich von Sekunden). Er ist in der Lage Hochdruckflüssigkeit aufzunehmen und bei Bedarf wieder in das System abzugeben. Ein *Überdruckventil* (pressure relief valve) kann die Pumpendruckleitung zum Reservoir kurzschließen, sodass es im Falle einer Systemfehlfunktion nicht zu höherem Druck als vorgeschrieben kommen kann. Die Druckdifferenz, die von der Pumpe aufgebaut wird, wird von einem Hydraulikverbraucher genutzt. Das Beispiel zeigt einen typischen Verbraucher im Flugsteuerungssystem. Der Kolben in einem Aktuator (actuator piston) muss ein- und ausfahren, damit die Steuerfläche (nicht abgebildet) ausschlagen kann. Die Kolbenstange (piston rod) wird bewegt, indem Hydraulikflüssigkeit in die linke Zylinderkammer eindringt und die rechte Zylinderkammer verlässt (oder umgekehrt). Ein Ventil (valve) regelt den Volumenstrom der Hydraulikflüssigkeit. Zu Einsatz kommt hier ein *Servoventil* (servo valve). Das Ventil hat vier Verbindungen:

- eine Verbindung zu jeder der beiden Zylinderkammern,
- eine Verbindung zur Hochdruckleitung,
- eine Verbindung zum Rücklauf.

Das Ventil kann in eine von drei Positionen gestellt werden:

- Ausfahren der Kolbenstange,
- Einfahren der Kolbenstange,
- keine Kolbenstangenbewegung.

Für einen Flugsteuerungsverbrauchers ist es wichtig, dass sich das Ventil allmählich von einer in die andere Position bewegt, um eine feinfühlig Ansteuerung der Steuerfläche zu ermöglichen. Beim Aus- und Einfahren des Fahrwerks reicht hingegen ein *Schaltventil* (selector valve) aus. Das Schaltventil erlaubt drei unterschiedliche Ventilstellungen jedoch (im Unterschied zum Servoventil) keine Zwischenstellungen.

Während eines Systementwurfs muss der komplette Hydraulikkreislauf bestehend aus Druckerzeugung, Verteilung im Rohrleitungssystem und den Verbrauchern analysiert werden. Nach der ATA-Gliederung sind die Verbraucher mit ihren Ventilen den entsprechenden Systemen wie Flugsteuerung und Fahrwerk zugewiesen. ATA 29 behandelt nur die Druckerzeugung und Verteilung.

Es gibt drei Arten von **Hydraulikflüssigkeiten**:

- auf *pflanzlicher Basis*,
- *Mineralstoff basierend*,
- *synthetisch- oder Phosphatester basierend*.

Bei Verkehrsflugzeugen verwendet man eine violett gefärbte auf Phosphatester basierende Flüssigkeit – am häufigsten wird Skydrol® LD benutzt. Skydrol® zeigt gute Eigenschaften bei niedrigen Temperaturen, geringe Neigung zur Entflammbarkeit, minimale Aggressivität gegenüber den meisten im Flugzeug verwendeten Metallen, aber Skydrol® reagiert mit bestimmten Lacken und kann auf Augen und Atemwege reizend wirken.

8.4 Komponenten

Das **Reservoir** dient als Vorratsbehälter für die Hydraulikflüssigkeit des Systems. Es werden zwei Basistypen unterschieden, *in-line* und *integral*. Weiter wird zwischen *bedruckten* (pressurized) und *unbedruckten* (unpressurized) Behälter unterschieden. Integralbehälter, die bei kleinen Flugzeugen Anwendung finden, werden mit der Pumpe kombiniert. Flugzeuge die in geringer Flughöhe operieren, haben unbedruckte Behälter und sind offen zur umgebenden Atmosphäre. Bedruckte Behälter werden unter einen gewissen Druck gesetzt. Das kann geschehen:

- über das Pneumatiksystem,
- mit Hydraulikdruck (Bootstrap-Prinzip) (Bild 8.2),
- mit einer Feder.

In einem *Bootstrap-Reservoir* wirkt die Hochdruckflüssigkeit auf einen kleinen Kolben, der mit einem großen Kolben verbunden ist. Dieser wirkt auf die Niederdruckflüssigkeit im Behälter. In den meisten Fällen wird aber *Druck aus dem Pneumatiksystem* genutzt, um den Druckbehälter mit Druck zu beaufschlagen. Der Druck im Pneumatiksystem muss dazu normalerweise noch durch einen Druckregler verringert werden. Die Druckluft tritt dann in den Luftraum über der Flüssigkeit im Behälter ein. Die Bedruckung des Reservoirs ist wichtig, um Kavitation in der Pumpe zu vermeiden.

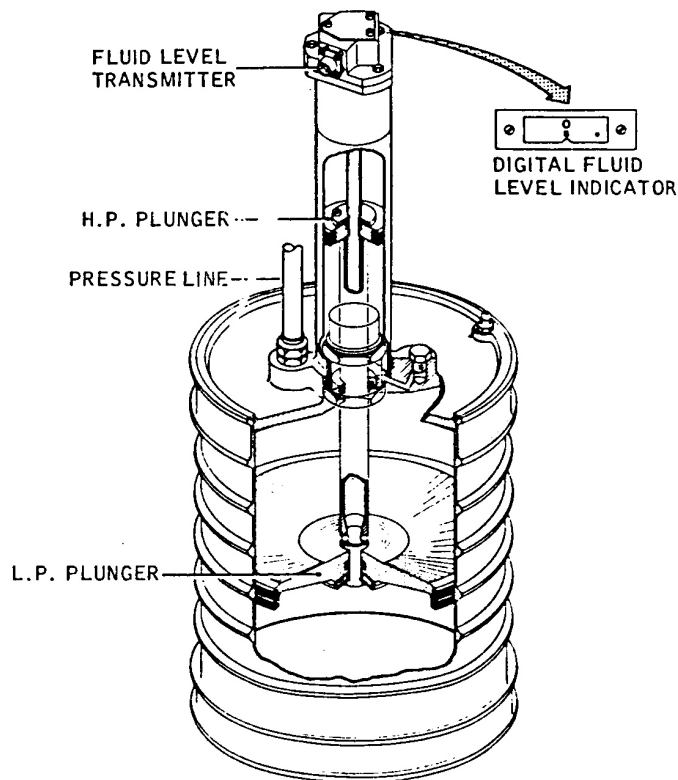


Bild 8.2 Reservoir bei dem der Vordruck durch das Bootstrap-Prinzip aufgebaut wird (Beispiel: VFW 614)

Gewöhnlich verwendet man die **Axialkolbenpumpe** (axial multiple-piston pump) im Hydrauliksystem von Flugzeugen. Es gibt die Axialkolbenpumpe *mit konstanter Verdrängung* oder *mit variabler Verdrängung*. Die Welle der Pumpe kann vom Flugzeugtriebwerk, einem Elektromotor, oder durch eine von Pneumatiksystem angetriebene Komponente bewegt werden. Die Welle dreht den Zylinderblock mit den Kolben. Immer wenn ein Kolben in den Zylinderblock gedrückt wird, wird die Flüssigkeit zum Auslass gedrückt. Während der nächsten halben Umdrehung zurück zur Ausgangsposition zieht der Kolben Flüssigkeit vom Einlass in den Zylinderblock. Pumpen mit konstanter Verdrängung (*constant displacement axial multiple-piston pumps*) liefern die exakt gleiche Flüssigkeitsmenge pro Umdrehung und brauchen einen Druckregler. Pumpen mit variabler Verdrängung (*variable displacement axial multiple-piston pumps*) werden am häufigsten verwendet (Bild 8.3). Die veränderliche Verdrängung wird durch eine Schrägscheibe (swash plate) erreicht. Der Winkel der Schrägscheibe wird von einem Druckregler eingestellt. Die Pumpe erreicht ihre maximale Fördermenge bei dem höchsten Schwenkwinkel. Bei einem Schwenkwinkel von 0° ist die Verdrängung und damit auch der Volumenstrom der Pumpe Null.

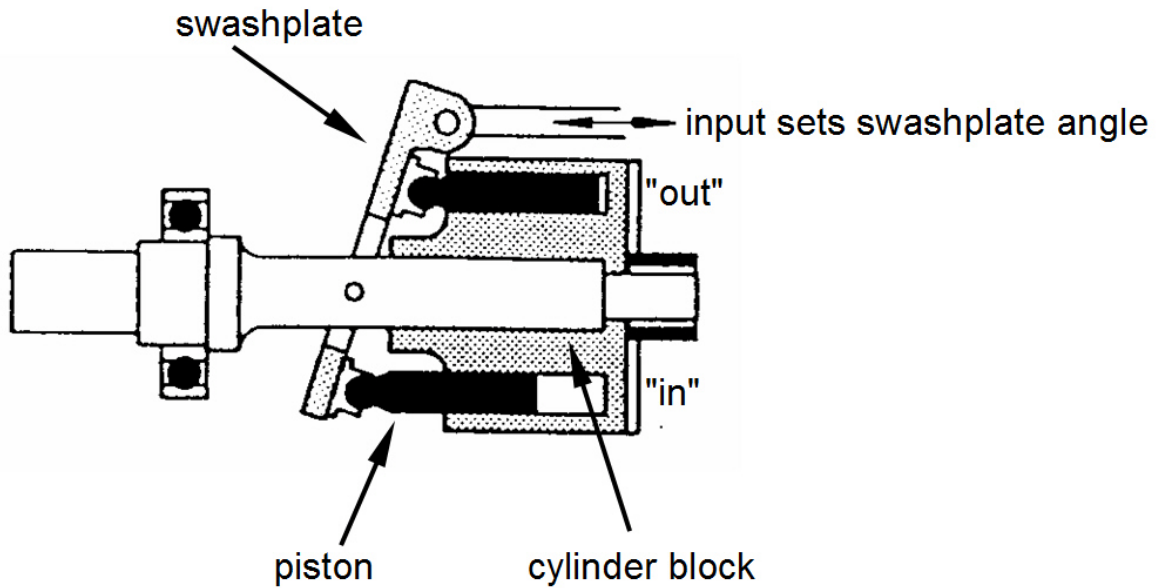


Bild 8.3 Prinzip einer Axialkolbenpumpe mit variabler Verdrängung (variable displacement axial multiple-piston pump)

Für kleinere Aufgaben können *Handpumpen* benutzt werden. Eine *Stauluftturbine* (ram air turbine, RAT) (Bild 8.8) kann in den freien Luftstrom gebracht werden, um eine Hydraulikpumpe anzutreiben. Dies erfolgt bei einem Triebwerksausfall oder einen kompletten Fehler im elektrischen System.

Drei Arten der hydraulischen **Akkumulatoren** oder Druckspeicher sind bekannt:

- der *Membrandruckspeicher* (diaphragm-type accumulator),
- der *Gummizellendruckspeicher* (bladder type accumulator),
- der *Kolbendruckspeicher* (piston type accumulator) (Bild 8.4).

Membran, Gummizelle, oder Kolben trennen die Flüssigkeitskammer von der Stickstoffkammer des Druckspeichers. Die Hydraulikflüssigkeit kann sich frei in die Flüssigkeitskammer hinein und aus dieser heraus bewegen. Der kompressible Stickstoff verhält sich ähnlich wie eine Feder gegen die Hydraulikflüssigkeit. Der Druckspeicher arbeitet als Hochdruck- und Flüssigkeitsspeicher und gleicht Druckwellen im System aus.

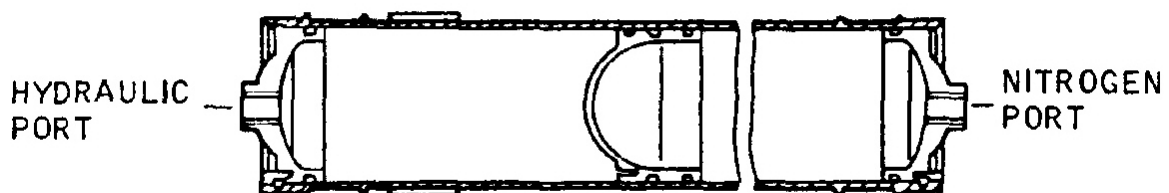


Bild 8.4 Kolbendruckspeicher (Beispiel: VFW 614)

Filter sind in den Hochdruckleitungen und in den Rücklaufleitungen installiert. Drei Filterarten sind in der Anwendung:

- Mikronfilter (micron filter),
- offenporige Sintermetallfilter (porous metal filter),
- Magnetfilter (magnetic filter).

Mikronfilter beinhalten ein Papierelement, das die Partikel beim Flüssigkeitsdurchfluss auffängt. *Sintermetallfilter* bestehen aus Metallpartikel, die durch ein Sinterverfahren verbunden sind. *Magnetfilter* ziehen Metallpartikel an.

Filter haben ein *Kopfteil* (head), das die Leitungsverbindungen und ein *Bypassventil* (bypass valve) aufnehmen kann, um zu verhindern, dass das System unbrauchbar wird, falls der Filter mal verstopft (clogged) sein sollte. Des Weiteren bestehen sie aus *Filtertopf* (bowl) und dem Filterelement. Flüssigkeit gelangt über den Kopf in den Filtertopf und verlässt den Filter über das Filterelement und dem Kopf (Bild 8.5).

Zwei grundsätzliche **Ventilarten** werden für Hydrauliksysteme verwendet:

- Stromregelventile (flow control valves),
- Druckregelventile (pressure control valves).

Stromregelventile steuern die Flüssigkeit durch das System. Beispiele sind *Schaltventile*, die den Weg des Ölstromes festlegen und *Servoventile* (oben beschrieben). *Rückschlagventile* (check valves) gestatten den Durchfluss nur in eine Richtung. Eine hydraulische Sicherung (hydraulic fuse) ist ein Sicherheitsventil. Es schließt bei einem schweren Systemleck. Beispiele für *Druckregelventile* sind *Druckbegrenzungsventile* (pressure-relief valve) und *Druckregler* (pressure regulator). *Vorrangventile* (priority valves) ist mechanisch ähnlich wie ein Druckbegrenzungsventil aufgebaut, der Öffnungsdruck liegt unter dem Nenndruck. Das Vorrangventil ist bei niedrigem Druck geschlossen und ermöglicht den Fluss zum Sekundärverbraucher nur, wenn ein Mindestdruck erreicht wurde. Bei geschlossenem Ventil wird nur der Primärverbraucher mit Druck versorgt.

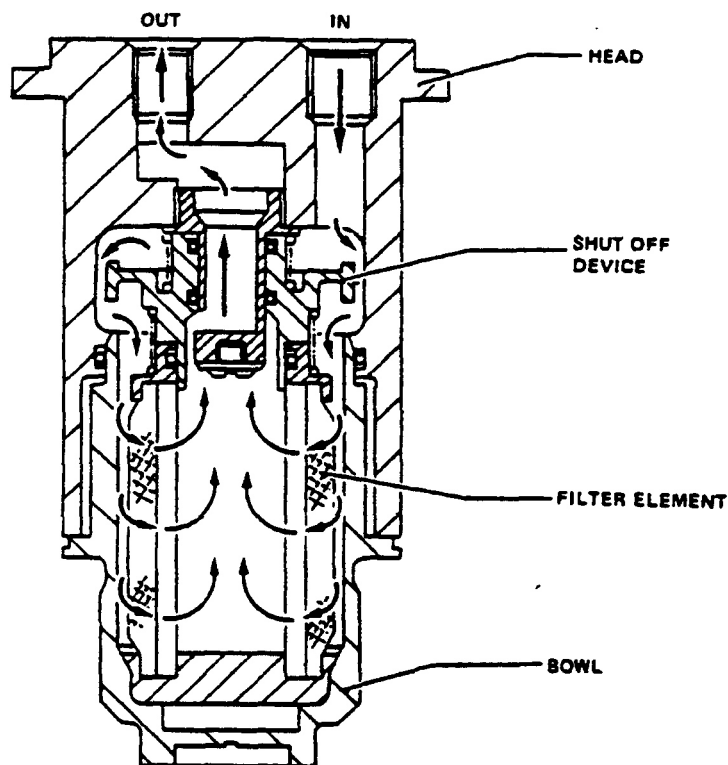


Bild 8.5 Niederdruckfilter (Beispiel: A321)

Es gibt **Rohrleitungen** (rigid lines) und **Schlauchleitungen** (flexible line, hose). Rohrleitungen sind entweder aus Aluminium für den Rücklauf und die Saugleitungen oder bestehen aus Stahl für Hochdruckleitungen. Die Festigkeit der Schlauchleitungen wird durch ein Stahldrahtgeflecht erreicht. **Fittings** verbinden die Leitungen mit anderen Hydraulikkomponenten.

Die Motor/Pumpenkombination bekannt als **Power Transfer Unit (PTU)** ist ein Bauteil, das einen Teil der Hydraulikleistung von einem System ohne den Austausch der Hydraulikflüssigkeit auf ein zweites System überträgt (**ARP 1280**).

PTUs können so ausgelegt sein, dass sie die Leistung nur in eine Richtung übertragen (*unidirektionale PTU*), oder in beide Richtungen (*bidirektionale PTU*) (Bild 8.6). Das Basiskonzept besteht aus einem Motor und einer Pumpe, die miteinander mechanisch verbunden sind. Die Verdrängung der beiden Hydraulikeinheiten kann gleich oder unterschiedlich sein. Dadurch können *PTUs* als Druckreduzierer oder Druckverstärker eingesetzt werden. Sie können den Druck auch in beiden Systemen gleich halten. Bei beidseitiger Leistungsübertragung arbeiten die Hydraulikeinheiten je nach Richtung als Pumpe oder Motor. Wenn die Druckverhältnisse zwischen den beiden Systemen aufrechterhalten werden sollen, so muss wenigstens eine der Hydraulikeinheiten ein variables Verdrängungsvolumen aufweisen.

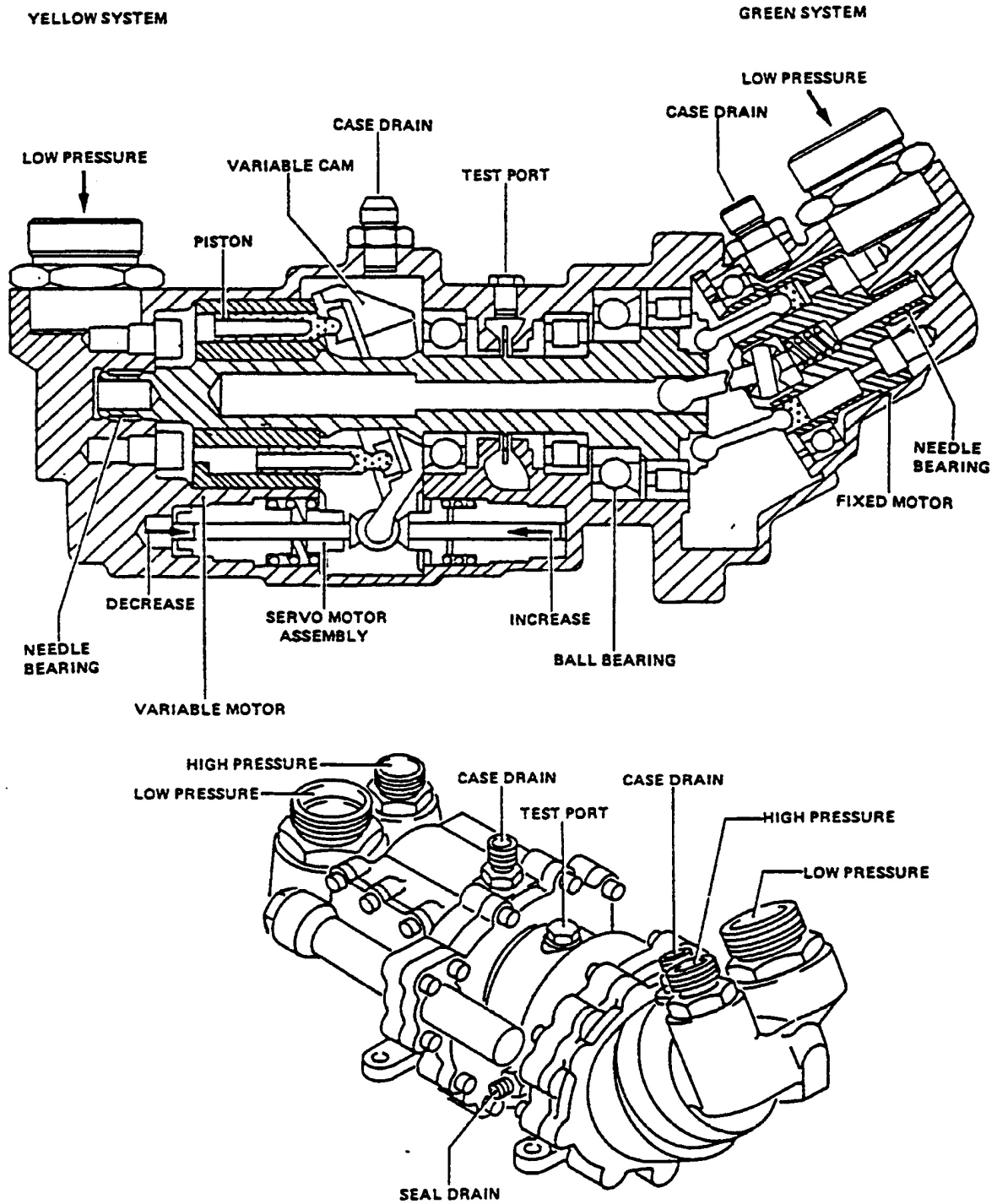


Bild 8.6 Bidirektionale Power Transfer Unit (PTU) (Beispiel: A321)

8.5 Beispiel: Airbus A321

Der Airbus A321 hat **drei Hydrauliksysteme** (Bild 8.7). Sie werden bezeichnet als:

- das Grüne System,
- das Blaue System,
- das Gelbe System.

Diese Systeme könnten auch als Subsysteme bezeichnet werden und bilden zusammen das Hydrauliksystem des Flugzeugs.

Zusammen versorgen sie die **Hauptverbraucher** mit 20,7 MPa (3000 psi). Die Hauptverbraucher sind:

- Flugsteuerung
- Fahrwerk
- Frachttore
- Bremsbetätigung
- Schubumkehrer

Primärpumpen sind Triebwerksgetriebene Pumpen (engine driven pumps, EDP), die das Grüne und Gelbe System mit Hydraulikenergie versorgen. Die EDP des Grünen Systems ist mit dem linken Triebwerk (Nr. 1) verbunden. Die EDP des Gelben Systems ist am rechten Triebwerk (Nr. 2) angeschlossen. Eine elektrische Pumpe versorgt das Blaue System. Die drei Primärpumpen liefern automatisch Hydraulikenergie, wenn die Triebwerke arbeiten. Die zwei EDPs sind direkt an den jeweiligen Triebwerken angeschlossen (durch eine Hilfsgeräteantrieb). Die Blaue Elektropumpe arbeitet, wenn eines der beiden Triebwerke läuft. Die drei Primärpumpen sind normalerweise so eingestellt, dass sie permanent laufen. Wenn nötig können die Pumpen auch vom Cockpit aus deaktiviert werden (z. B. wegen eines Systemdefekts oder bei Wartungsarbeiten).

Wenn die Hauptpumpen nicht verwendet werden können, ist es möglich jedes Hydrauliksystem mit einer oder mehreren **Hilfspumpen** zu betreiben:

- das Grüne System mit der Power Transfer Unit (PTU),
- das Blaue System mit der Stauluftturbine (ram air turbine, RAT) (Bild 8.8),
- das Gelbe System mit der Gelben Elektropumpe oder der PTU.

Erzeugung des Systemdruckes der Hydrauliksysteme am Boden ist möglich durch:

- das Gelbe System – Gelbe Elektropumpe,
- das Grüne System – Gelbe Elektropumpe (durch die PTU),
- das Blaue System – Blaue Elektropumpe.

Alle Systeme können von einem Hydraulikaggregat am Boden versorgt werden. Stecker sind an der Serviceschalttafel (ground service panel) installiert. Die Frachttore können auch mit einer Handpumpe betätigt werden, die Teil des Gelben Systems ist.

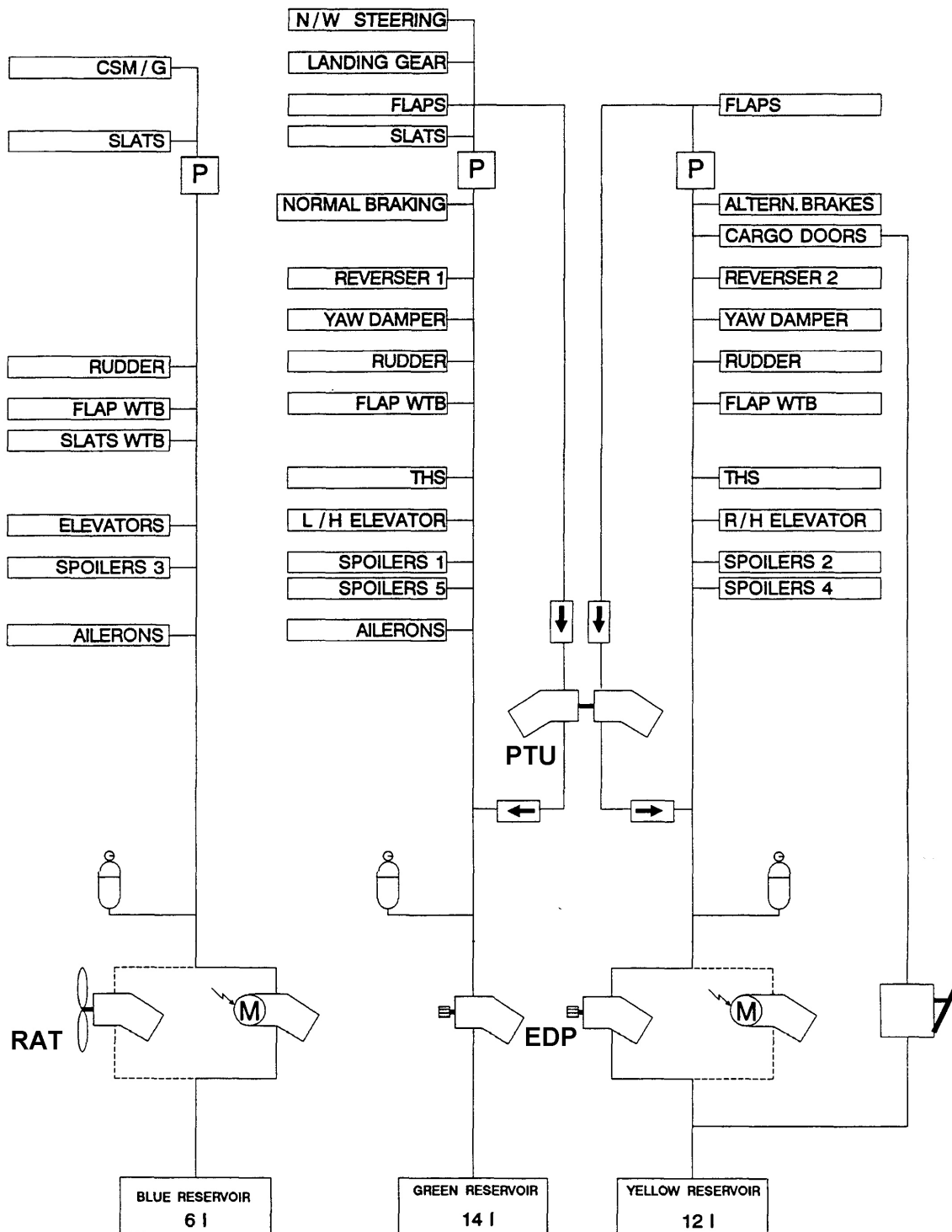


Bild 8.7 Hydrauliksystemschema (Beispiel: A321)

EDP	Triebwerkspumpen (engine driven pump)
M	Elektropumpen
RAT	Stauluftturbine (ram air turbine)
PTU	Power Transfer Unit
P	Vorrangventil (priority valve)
→	Rückschlagventil (check valve)
CSM/G	Konstantdrehzahl-Motor-/Generator (constant speed motor/generator) Notstromaggregat
THS	trimmbares Höhenleitwerk (trimable horizontal stabilizer)
WTB	Bremsen der Antriebswellen in der Flügelspitze (wing tip brake) im Hochauftriebssystem

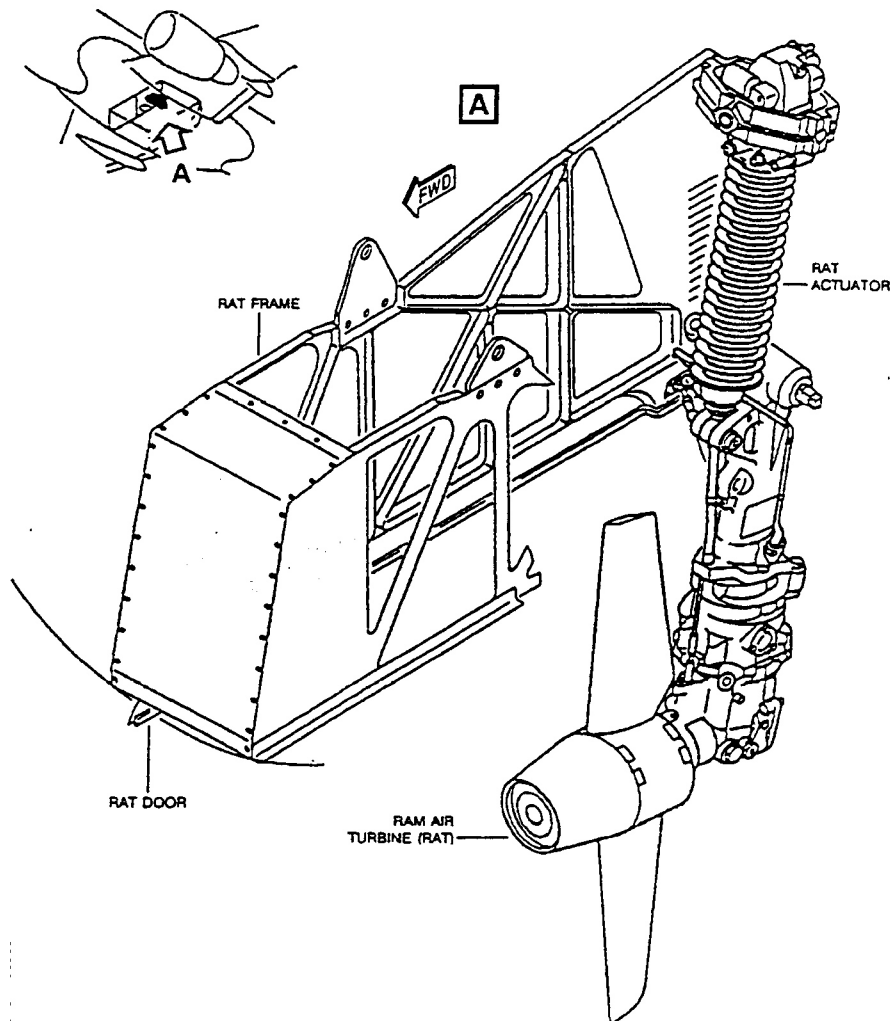


Bild 8.8 Stauluftturbine (ram air turbine, RAT) (Beispiel: A321)